DIE NATURWISSENSCHAFTEN

BEGRÜNDET VON A. BERLINER UND C. THESING

UNTER MITWIRKUNG VON

J. BARTELS E. BEDERKE H. BROCKMANN P. TEN BRUGGENCATE C. W. CORRENS H. v. FICKER R. GRAMMEL O. HAHN R. HARDER M. HARTMANN W. HEISENBERG A. KÜHN M. v. LAUE H. MARTIUS R. W. POHL H. REIN E. SCHMIDT

HERAUSGEGEBEN VON

ARNOLD EUCKEN

SPRINGER-VERLAG IN BERLIN UND GÖTTINGEN

34. JAHRGANG HEFT 6 (161—192) 1947

INHALT:

Wilhelm Herschels Sterneichungen und Ansichten vom Bau des Sternsystems. Von D. Wattenberg 161

Alte und neue Probleme der kinetischen Gastheorie. Von K. Schäfer 166

Das Gebiet des unterpliozänen Ur-Rheins in Rheinhessen und seine Tierwelt. Von W. Wagner 171

Zur Frage nach den Stoffbewegungen im Pflanzenkörper. Von W. Schumacher 176

Einfache Grundvorgänge in der tierischen Entwicklung I. (Über Zellteilung, Wachstum und Formbildung in der Organentwicklung der Insekten.) Von K. Henke 180

Kurze Originalmitteilungen.

Eine Erweiterung der Theorie der Supraleitung. Von M. v. Laue 186

Unelastische Streuung und diskrete Geschwindigkeitsverluste schneller Elektronen. Von B. v. Borries und H. Koppe 187

Zur Frage der Einwirkung elektrischer Felder auf den Wärmeübergang in Gasen. Von H. Senftleben und H. Gladisch . . . 187

Eine neue Synthese von Cystein und Cystin. Von A. Schöberl und A. Wagner 189

Untersuchungen über die Lipoidfraktionen in Staublungen. Organische Kieselsäureverbindungen. VIII. Mitteilung. Von L. Holzapfel . 189

Farbstoffbildung bei Actinomyceten. Von O. v. Plotho 190

Actinorhodin, ein roter Farbstoff aus Actinomyceten. Von H. Brockmann und H. Pini . . 190

Anoxybiose als internes Karzinogen. Von F. Windisch 190

Die Bildung des Spaltöffnungsmusters in der Blattepidermis. Von E. Bünning und H. Sagromsky . . . 191

Druckfehlerberichtigung 192

Besprechungen.

H. Grüneberg, Animal Genetics and Medicine. (Ref.: H. Nachtsheim) 192

Ausgegeben im März 1948.

In Kürze beginnt wieder zu erscheinen: **Archiv für Elektrotechnik**

Schriftleitung:
Prof. Dr.-Ing. Johannes Fischer, Karlsruhe/Baden
und
Prof. Dr.-Ing. Werner Nürnberg, Berlin

Das „Archiv für Elektrotechnik" erscheint vorläufig nach Maßgabe der eingehenden Arbeiten in einzeln berechneten Heften

SPRINGER-VERLAG BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

Der Bedarf an Kohlebürsten

kann z. Z. nur langsam gedeckt werden. — Pflege und Überwachung der vorhandenen Kohlebürsten im Betrieb verlängern ihre Lebensdauer. — Im Kampf gegen Fehler, Abnutzung und Überbeanspruchung der Kohlebürsten ist die **Ringsdorff-Störungstabelle** ein guter Berater. — Auf Anforderung erfolgt kostenlose Zusendung

Ringsdorff-Werke KG. / (22c) Mehlem-Rhein

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

erscheinen vorerst etwa halbmonatlich und können durch jede Sortimentsbuchhandlung bezogen werden. Preis für 12 Hefte mit zusammen etwa 24 Druckbogen RM 24.—, für das einzelne Heft RM 2.50 zuzüglich Postgebühren.

Nachdruck: Der Verlag behält sich das ausschließliche Recht der Vervielfältigung und Verbreitung aller in dieser Zeitschrift zum Abdruck gelangenden Beiträge sowie ihrer Verwendung für fremdsprachliche Ausgaben vor.

Sonderdrucke: Den Verfassern von Originalbeiträgen und Kurzen Originalmitteilungen stehen 75 Exemplare kostenfrei zur Verfügung.

Anzeigen werden vom Springer-Verlag, Berlin-Charlottenburg 2, Jebensstraße 1, angenommen. Die Preise wolle man unter Angabe der Größe und des Platzes erfragen.

Springer-Verlag

Berlin-Charlottenburg 2 Jebensstraße 1 — **Göttingen** Am Goldgraben 8

Redaktionelle Hinweise

I. Allgemeines.

1. Bei der Einsendung von Manuskripten an „Die Naturwissenschaften" bittet die Redaktion die Herren Autoren, stets im Auge zu behalten, daß die Zeitschrift in erster Linie den Wünschen und Interessen des weiten Kreises ihrer Leser zu dienen hat und daß daher ihnen gegenüber Sonderwünsche der Herren Autoren in bezug auf Inhalt, Form und Umfang ihrer Veröffentlichungen zurücktreten müssen, falls die Redaktion dies für erforderlich hält.

2. Vor allem bittet die Redaktion, von der Einsendung von Aufsätzen Abstand zu nehmen, die nur für einen eng begrenzten Leserkreis verständlich und von Interesse sind, und die daher in einer Fachzeitschrift ihren richtigen Platz haben. Ausnahmen bilden knapp gefaßte Schilderungen der Ergebnisse eben fertiggestellter Arbeiten; für diese ist die Rubrik „K.O.M." („Kurze Originalmitteilungen") vorgesehen. Wegen Platz- und Papiermangels sind allerdings auch hier gewisse Einschränkungen nötig. In bezug auf den Inhalt: Angenommen werden können nur wirklich wichtige Arbeiten (z. B. keine bloßen Analogiearbeiten). In bezug auf den Umfang: Im Durchschnitt kann für eine einzelne K.O.M. nur der Raum einer Spalte (etwa 1000 Silben) zur Verfügung gestellt werden.

3. Autoren, namentlich solche, welchen die Gepflogenheiten bei Veröffentlichungen in den „Naturwissenschaften" noch nicht bekannt sind, werden gebeten, in die ausführlichere Darstellung der allgemeinen redaktionellen Richtlinien Einblick zu nehmen, welche in Heft 1 des vorangehenden Jahrgangs abgedruckt sind. Ergänzend sei hier bemerkt, daß die Rubrik „Tagesnotizen" in Zukunft nicht fortgeführt wird, daß also Einsendungen für diese zwecklos sind.

II. Spezielle Hinweise.

Alle Sendungen und Zuschriften sind zu richten an:

Redaktion der Naturwissenschaften,

(20b) Göttingen, Bürgerstraße 50.

In sämtlichen Fällen erhalten die Autoren eine Bestätigung über das Eintreffen von Manuskripten sowie über deren Annahme oder Ablehnung. In den Aufsätzen sind seltene und nur einem kleinen Leserkreis verständliche Fachausdrücke nach Möglichkeit zu vermeiden oder in einer Fußnote kurz zu erläutern. Literaturzitate sind fortlaufend zu numerieren; die angeführten Arbeiten werden dann in einem Literaturverzeichnis am Schluß der Arbeit zusammengestellt. Bei Erläuterung des Textes durch Figuren ist überflüssiger Aufwand zu vermeiden. Figurenvorlagen für Strichätzungen sind so sorgfältig herzustellen, daß nach ihnen ohne weitere Rückfragen Reinzeichnungen angefertigt werden können. Diese werden zur Zeitersparnis den Autoren im allgemeinen nicht vorgelegt, sondern seitens der Redaktion kontrolliert.

Bei photographischen Abbildungen (Autotypien) kann das Druckergebnis auf dem heute zur Verfügung stehenden Papier nur in seltenen Fällen wirklich befriedigen. Es ist deshalb ratsam, Autotypien nach Möglichkeit zu vermeiden. In vielen Fällen läßt sich das Wesentliche durch eine Zeichnung ebensogut zeigen.

Korrekturen.

Die Autoren erhalten in jedem Fall eine Fahnenkorrektur, deren umgehende Erledigung und Rücksendung (mit einem Vermerk, ob der Beitrag druckfertig oder eine Revision erforderlich ist) erbeten wird.

LABOR-AUSRÜSTUNGEN
für Wissenschaft
Technik
u. Medizin

L.Harkort

Berlin-Wannsee • Am Sandwerder 3, gegenüber vom Bahnhof • Telefon 805360
Vertretungen in allen Teilen Deutschlands • Listen stehen zur Verfügung

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

34. Jahrgang Heft 6*) 1947

Wilhelm Herschels Sterneichungen und Ansichten vom Bau des Sternsystems.

Zum 125. Todestag des Astronomen am 25. August 1947.

Von Diedrich Wattenberg (Bremen).

Die Erforschung der räumlichen Verteilung der Sterne ist in ihren ersten Anfängen mit dem Lebenswerk Wilhelm Herschels (1738—1822) unlösbar verbunden. Herschel war um die Mitte des 18. Jahrhunderts als Autodidakt zur Astronomie gekommen und stellte von 1766 an zunächst in Bath (England), später (ab 1782) in Datchet bei Windsor und schließlich (ab 1786) in Slough an selbstgebauten Spiegelteleskopen ausgedehnte Beobachtungen des Himmels an. Als er im Jahre 1779 damit begann, „eine konsequente Durchmusterung des Himmels durchzuführen, um alles Bekannte zu sehen und allfällig Neues zu finden", konnte er der Welt als erste reife Frucht dieser mühsamen Arbeiten die am 13. März 1781 gelungene Entdeckung eines neuen Planeten anzeigen, der jenseits der Saturnsbahn seine Bahn zog. Anfangs noch in der Meinung befangen, einen neuen Kometen entdeckt zu haben, worüber er auch einen „Account of a Comet" verfaßte, der am 26. April 1781 in der Royal Society verlesen wurde, stellte sich schließlich heraus, daß es sich um einen transsaturnischen Planeten handle. Herschel hatte dafür die Bezeichnung „Georgsstern" (Georgium Sidus) vorgeschlagen, die sich aber nicht durchzusetzen vermochte, so daß allmählich der von Bode angeregte Name „Uranus" die Zustimmung der astronomischen Fachwelt fand.

Diese Entdeckung machte Herschel zu einem berühmten Astronomen, der fortan mit Eifer bestrebt war, durch den Bau größerer Teleskope tiefer in die Welt der Sterne einzudringen, als das je zuvor möglich gewesen war. So konnte er bereits im Herbst 1782 der Royal Society einen „Catalogue of double stars" vorlegen, der 269 Doppelsterne nachwies, und deren Zahl er bis 1802 auf 846 vermehrte. Im folgenden Jahre (1783) übergab der rege Forscher der Royal Society seine Abhandlung „On the Proper motion of the Sun and Solar System", in der er die Bewegung der Sonne gegen das Sternbild des Herkules nachwies und den Apex bei $AR = 17^h\,22^m$ und Dekl. $= +26°\,27'$ ermittelte. Wenige Jahre später (1786) machten ihn seine Entdeckungen im Reiche der kosmischen Nebel zu einer astrononmischen Berühmtheit, als er der Königlichen Gesellschaft seinen ersten „Catalogue of one Thousand new Nebulae and Clusters of Stars" mitteilte, dem 1789 und 1802 noch zwei Supplemente mit annähernd 1600 Nebeln und Sternhaufen folgten. Insgesamt enthalten die Herschelschen Verzeichnisse 2509 Objekte.

Über den räumlichen Aufbau des Fixsternsystems war damals auf Grund empirischer Forschungen noch nichts bekannt. Zwar hatte die kopernikanische Lehre die Vorstellung der ptolemäischen Fixsternsphäre und das Wesen des Primum mobile weitgehend zerstört. Von Kant (1755) und Lambert (1761) waren spekulative Betrachtungen über systematische Anordnungen der Fixsterne angestellt worden, so daß in Verbindung damit zwar der Gedanke an das Wesen des Milchstraßensystems auftauchte und gleichermaßen die Vorstellung einer Welt von Milchstraßen in einem unendlichen Raume Boden gewann. Allein irgendwelche fundamentalen Grundlagen, die sich auf weitreichende Beobachtungen stützen konnten, gab es dafür nicht, zumal auch noch keine einzige Entfernung im Fixsternsystem durch empirische Messungen bekanntgeworden war. Alles, was zu der Zeit überhaupt an astronomischen Messungen gewonnen wurde, bezog sich ausschließlich auf die Sicherung der Bewegungsvorgänge im Planetensystem, in deren Beherrschung die Himmelsmechanik ihre höchste Vollendung zu feiern schien. In dieser Sachlage war in den ersten $1^1/_2$ Jahrhunderten nach der Erfindung des Fernrohrs keine wesentliche Änderung eingetreten. Zudem waren sich die Astronomen des ausgehenden 17. Jahrhunderts auch darüber im klaren, daß eine Überschreitung der ihnen gezogenen Grenzen sowie die Herauslösung und Überführung der Frage nach dem Bau der Fixsternwelt aus dem Bereich reiner Spekulationen in das Gebiet der Erfahrung und Sinneswahrnehmung nur dann mit Erfolg möglich sein werde, wenn seitens der beobachtenden Astronomie dazu neue Tatsachen und ausreichende Beobachtungen bereitgestellt würden. Diese Voraussetzungen erforderten wiederum eine wesentliche Steigerung der Leistungsfähigkeit der optischen Hilfsmittel, so daß Herschel diesen Forderungen durch den Selbstbau seiner großen Spiegelteleskope besonders entgegenzukommen versuchte, indem er im vollen Bewußtsein der Tragweite des zu lösenden Problems die Frage nach dem Wesen und der Gestalt des Sternsystems aufwarf.

Im Jahre 1783 hatte er den Bau seines 20füßigen Reflektors vollendet, der eine Öffnung von 18,7 Zoll besaß und eine Vergrößerung bis zum 160fachen gestattete. Die Bewegung dieses mächtigen Instruments war allerdings auf den Meridian beschränkt, wo es aber, wie Herschel bemerkte, „die gerade Aufsteigung sowohl als auch die Abweichung eines Gegenstandes am Himmel angab, zwar nur auf eine beiläufige Art, die aber dennoch hinreichte, die Stelle des Gegenstandes so zu bestimmen, daß sie wiedergefunden werden" konnte. Als Herschel dieses Instrument auf die Milchstraße richtete, fand er zu seiner Überraschung, „daß es den gesamten weißlichen Schein völlig in lauter kleine Sterne auflöste", was sein vorher benutztes Teleskop von 12″ Öffnung nicht zu bewirken vermochte. Trotzdem war es ihm damit gelungen, zahlreiche Nebelflecke aus den von Messier und Méchain 1783 und 1784 veröffentlichten Verzeichnissen von insgesamt 103 Nebeln und Sternhaufen in Sterne aufzulösen. Bei 29 und vermutlich weiteren 9 Objekten, die in den genannten Kalalogen als „Nebelflecke ohne Stern" enthalten waren, zeigte sich, „daß sie entweder nichts als lauter Sterne waren oder wenigstens Sterne enthielten".

Von entscheidender Bedeutung für den Fortgang der Herschelschen Untersuchungen wurde jedoch die Entdeckung einer ungewöhnlich sternreichen Region „unmittelbar um die Hand und Keule des

*) *Ausgegeben im März 1948.*

Orion herum", die ihm Veranlassung gab, mit dem 18,7-Zöller in mehreren Feldern die Sterne zu zählen und ihren Durchschnitt zu berechnen, um so herauszufinden, „was ein gewisses Stück von der Milchstraße an Sternen enthalten möchte". In 6 wahllos ausgewählten Feldern beobachtete er am 18. Januar 1784 nacheinander 110, 60, 70, 90, 70 und 74 Sterne. „Ich untersuchte darauf die leerste Stelle, die in der Nachbarschaft zu finden war", berichtet Herschel, „und fand 63. Das Mittel von den ersten 6 [Feldern] gibt 79 für jedes Feld. Nehme ich nun 15′ eines größten Kreises als Durchmesser meines Gesichtsfeldes an, so folgt, daß ein Streifen von 15° Länge und 2° Breite, dessen Sternmenge ich öfters während einer Stunde durch das Gesichtsfeld meines Teleskops habe passieren lassen, wohl nicht weniger als 50 000 Sterne enthalten kann, welche groß [hell] genug waren, um mit Sicherheit gezählt werden zu können. Aber außer diesen vermutete ich mindestens noch doppelt so viele, von denen ich wegen ihrer Lichtschwäche nur dann und wann einen Schimmer sehen konnte."

Auf diese Weise wäre ein vollständiges Bild von der sphärischen Verteilung der Sterne zu gewinnen gewesen, wenn nicht die Größe der Aufgabe das Leistungsvermögen des einzelnen Forschers überschritten hätte. Da das Gesichtsfeld in Herschels Teleskop einen Durchmesser von $^1/_4$° und demgemäß einen Flächeninhalt von $\pi/64$ Quadratgrad besaß, so hätte eine über den gesamten Himmel (= 41 252,96 Quadratgrad) ausgedehnte Sternzählung entsprechende Zählungen in etwa 840 000 Feldern erforderlich gemacht. Ein derartiges Unternehmen würde viele Jahrzehnte (nach W. Struve 83 Jahre) beansprucht und damit die Lebenszeit eines einzelnen Beobachters weit überstiegen haben, so daß Herschel sich bei seinen Beobachtungen auf einen 2° 26′ breiten (zwischen + 45° und — 30° Deklination gelegenen) Streifen des Himmelsgewölbes beschränken mußte, der die Milchstraße in einem rechten Winkel schnitt. Innerhalb dieses schmalen Ausschnittes aus der Fixsternsphäre führte er nun in rund 3400 ausgewählten Feldern Zählungen der Sterne durch, um aus den innerhalb der Zählbereiche vorgefundenen Verhältnissen Rückschlüsse auf den allgemeinen Verlauf der Sternverteilung am Himmel zu ziehen. Das dabei eingeschlagene Verfahren nannte Herschel „process of gauging the heavens" oder „star-gauges" (Sterneichungen), wobei er in folgender Weise zu verfahren pflegte: „Ich nehme wiederholt die Anzahl von Sternen in zehn Gesichtsfeldern meines Teleskops, eins dicht am anderen, und indem ich ihre Summen addiere und eine Dezimalstelle rechter Hand abschneide, erhalte ich einen Durchschnitt vom Gehalt des Himmels in allen den Teilen, die auf solche Weise geeicht werden." Hierbei zeigte sich, daß die Sterne am Himmel keineswegs gleichmäßig verteilt waren, sondern oft recht erhebliche Unterschiede zu erkennen gaben. Beispielsweise stiegen die Sternzahlen innerhalb eines $1^h\,27^m$ langen Streifens ($AR = 15^h\,10^m$ bis $16^h\,37^m$; Dekl. = —8° bis —6°) von 9.4. auf 18.6. an, womit eine deutliche Zunahme der Sterne mit Annäherung an die Milchstraßenregion angezeigt erschien, zumal in den milchstraßenfernen Bereichen (wie z. B. bei $AR = 11^h\,16^m$ bis $14^h\,30^m$; Dekl. = + 12° bis 10°) lediglich Schwankungen zwischen 3.1 und 4.6 auftraten.

In einem der sternreichsten Bereiche der Milchstraße, im Adler, ($AR = 19^h\,30^m\,36^s$; Dekl. = +15° 27′) stieß Herschel auf ein Feld mit 588 Sternen. Nehmen wir für den 3° 45′ = 225′ (oder 15^m) langen Durchmusterungsstreifen eine Breite von 2° 26′ + 15′ (für 2 Halbmesser des Gesichtsfeldes des Instruments) = 161′ an, so ergibt sich die Gesamtzahl der in jenen Regionen binnen 15^m das Gesichtsfeld durchziehenden Sterne zu

$$s = \frac{a\,\nu}{b} = 116\,076.$$

Hierin bedeuten ν die Zahl der Sterne in einem Gesichtsfeld (= 588), b das Verhältnis der Kreisfläche zu einem unbeschriebenen Quadrat (= 0,7854), und a die Anzahl solcher in dem Durchmusterungsstreifen enthaltenen Quadrate; es ist $a = 225 \sin \varphi \cdot 161/15^2$ (φ = Poldistanz der Streifenmitte, 15′ = Gesichtsfelddurchmesser). In einem anderen Falle wären es 250 000 Sterne, die innerhalb 41^m durch das Gesichtsfeld gingen.

Die in diesem Sinne im gesamten ausgewählten Durchmusterungsbereich ausgeführten (und 1785 im wesentlichen beendeten) Sterneichungen ließen keinen Zweifel daran, daß die Milchstraße die Symmetrieebene des Sternsystems sei, von dem Herschel schon damals sagen konnte, daß es „aller Wahrscheinlichkeit nach einen abgetrennten Nebelfleck (detached Nebula)", also ein selbständiges Weltsystem verkörpere. Allenfalls ging aus dem am Nordhimmel gewonnenen Zahlenmaterial der Sterneichungen klar hervor, daß die Sternzahlen mit Annäherung an die Milchstraße systematisch zunahmen, während sie an den Polen der Milchstraße weniger zahlreich in Erscheinung traten. Es mag aber vorgreifend in diesem Zusammenhang angeführt sein, daß die in dieser Hinsicht notwendigen Konsequenzen erst viel später (1847) von W. Struve (1793—1864) gezogen wurden, als er versuchte, aus W. Herschels Sterneichungen des Nordhimmels mittlere Sternzahlen für ein 15′ im Durchmesser aufweisendes Gesichtsfeld (geordnet nach Distanzen vom Milchstraßenpol) herzuleiten. Im selben Sinne veröffentlichte fast gleichzeitig (1847) John Herschel (1792—1871), der in den Jahren 1834—1838 gelegentlich einer Kapreise die Sterneichungen seines Vaters an demselben Instrument auf den Südhimmel ausgedehnt und dort in 2299 Feldern 68 948 Sterne geeicht hatte, ganz ähnliche Ergebnisse, die ebenfalls eine deutliche Abhängigkeit der Sternzahlen von der „galaktischen Breite" zeigten. Beide Zahlenreihen sind in nachstehender Tabelle 1 gegenübergestellt.

Tabelle 1

Distanz vom Pol der Milchstraße	Sterne pro Feld (Nordhimmel) nach W. Herschel	Sterne pro Feld (Südhimmel) nach J. Herschel
0° bis 15°	4.32	6.05
15 „ 30	5.42	6.62
30 „ 45	8.21	9.08
45 „ 60	13.61	13.49
60 „ 75	24.09	26.29
75 „ 90	53.43	59.06

Bei den vorstehend wiedergegebenen Zahlenwerten handelt es sich um mittlere Größen, die in dieser Form keine sehr anschauliche Vorstellung von der teilweise recht ungleichmäßigen Sternverteilung vermitteln, da sich manche Felder durch bemerkenswerte Sternarmut oder völlige Sternleere auszeichneten. In anderen Feldern (so in der Gabelung der Milchstraße im Schwan und in den sogenannten „Kohlensäcken") machten sich im Verlauf der Sternzahlen auffallende Gegensätzlichkeiten zwischen Sternleeren und Sternfüllen bemerkbar. Dazu gehört auch eine von Herschel näher beschriebene „Öffnung oder ein Loch im Leibe des Skorpion". „Ich fand diese Öffnung, als ich in dem Parallelstreif von 112° bis 114° Nordpolardistanz eichte. Meine Eichungen

nahmen, indem ich mich der Milchstraße näherte, stufenweise zu von 9.7 bis 17.1, als sie plötzlich bis auf nichts abnahmen, wenige ziemlich große Sterne ausgenommen, welche machten, daß die Eichungen 0.5, 0.7, 1.1, 1.4 und 1.8 anzeigten, worauf sie wieder auf 4.7, 13.5, 20.3 und gleich auf 41.1 anwuchsen. Diese Öffnung ist 4 Grad breit, aber ihre Höhe habe ich noch nicht ausgemacht."

Es entstand nun für Herschel die Aufgabe, aus der scheinbaren (zahlenmäßigen) Verteilung der Sterne an der Sphäre einen Rückschluß auf ihre räumliche Anordnung zu gewinnen. „Die Methode, die ich ergriffen habe, den Himmel zu analysieren, ist vielleicht die einzige, durch welche wir zu einer Kenntnis vom Bau desselben gelangen können", schrieb Herschel. Dennoch sah er sich hier im Hinblick auf die Tatsache, daß damals noch nicht eine einzige Sternentfernung gemessen worden war, denselben (vielleicht auch weit größeren) Schwierigkeiten gegenüber, mit denen die Stellarastronomie unserer Tage auch fortgesetzt zu ringen hat: einmal der Unmöglichkeit einer unmittelbaren Bestimmung der individuellen Entfernung für möglichst viele Sterne, die uns ein genähertes Bild der tatsächlichen räumlichen Sternverteilung verschaffen würde, und ferner: die Unkenntnis der tatsächlichen (nicht durch Entfernungsunterschiede bedingten) absoluten Helligkeiten der Sterne, die bei ihrem sicheren Bekanntsein wenigstens die Herleitung ihrer relativen räumlichen Verteilung gestattet hätten. In Ermangelung jeglicher Anhaltspunkte war Herschel ausschließlich darauf angewiesen, zu Hypothesen seine Zuflucht zu nehmen, um dadurch die fehlenden empirischen Grundlagen seiner weittragenden (offenbar den optischen Leistungsfähigkeiten der benutzten Instrumente analogen) Folgerungen zu ersetzen.

Es stand für Herschel unbedingt fest, daß seine Teleskope ihm den Einblick in Raumestiefen gewährten, in die vor ihm keines Menschen Auge hineingeschaut hatte, und ferner, daß er damit zu Sternen vordrang, die sich bereits an den äußersten Rändern des Sternsystems befanden. Diese Ränder schienen in den dichtesten Feldern am weitesten entfernt zu sein. Er verband damit weiter die Voraussetzung, daß die Sterne innerhalb des übersehbaren (vom Gesichtskegel umschlossenen) Raumes gleichförmig verteilt seien, so daß er in Ansehung dessen sowie unter Annahme gleicher absoluter Helligkeiten der Sterne zur Festlegung von Entfernungseinheiten schreiten konnte. „Die Sterne der ersten Größe, die aller Wahrscheinlichkeit nach die nächsten sind, werden uns eine Staffel für unsere Stufenleiter darbieten. Indem wir also zum Beispiel von der Entfernung des Sirius oder Arktur, als einer Einheit, ausgehen, wollen wir jetzt annehmen, daß die von der zweiten Größe einen doppelten und die von der dritten einen dreifachen Abstand haben usw." Insofern bot sich also die Möglichkeit, die im Fernrohr sichtbaren Sterne zu bestimmten Entfernungseinheiten zusammenzufassen. Da Herschel für den nächsten Fixstern eine Entfernung von 1 Siriusweite annahm, die 40 000 Erdbahndurchmessern entsprechen sollte, würde sich in diesem Sinne die Länge der Siriusweite zu 1.2×10^{13} km oder 1.27 Lichtjahren ergeben.

Da das Gesichtsfeld eines Fernrohrs in jedem Falle einen Raumausschnitt umschließt bzw. zu überblicken gestattet, der sich mit zunehmender Entfernung immer mehr verbreitert, also einen Kegel bildet, dessen Spitze im Brennpunkt des Instruments liegt, so muß die Basis dieses Kegels der äußersten Reichweite des Instruments entsprechen. Folglich wird auch das Volumen des Kegels dem Kubus der Entfernung, auf die er sich erstreckt, proportional sein, so daß bei doppelter Reichweite des Fernrohrs der Kegel nicht nur doppelt so lang wird, sondern das achtfache Volumen erreicht, da sich die Länge der Basis nach jeder Richtung hin ebenfalls verdoppelt.

Ausgehend von solchen Voraussetzungen, daß die im Fernrohr bzw. in seinem Gesichtsfeld sichtbaren Sterne in räumlicher Hinsicht über einen rechtwinkligen Kegel verteilt sind, dessen Spitze im Auge des Beobachters oder in der Sonne liegt, dachte Herschel sich jenen Kegel durch mehrere auf seiner Achse senkrecht stehende Ebenen in einzelne Schnitte zerteilt, von denen der erste Schnitt vom Scheitel des Kegels um eine, der zweite um zwei, der dritte um drei Siriusweiten usw. abstand. In dem Falle, wo die Kegeloberfläche von der ersten Ebene in einem Kreise geschnitten wird, ist dessen Radius 1 Siriusweite, und die Peripherie wird 6 Sterne aufnehmen können, die unter sich wiederum jeweils 1 Siriusweite entfernt sind. Die erste Ebene enthält also $1 + 6 = 7$ Sterne (einschließlich des Mittelpunktsterns). Die zweite Ebene mit einem Halbmesser von 2 Siriusweiten wird in ihrer Peripherie 12 gleich weit voneinander entfernte Sterne und in einem zweiten um ihren Mittelpunkt gelegten konzentrischen Kreis, der genau demjenigen der ersten Ebene entspricht, 6 weitere Sterne und 1 Zentralstern, insgesamt also $12 + 6 + 1 = 19$ Sterne enthalten. Die dritte Ebene müßte mit 18 Sternen in der Peripherie und 19 Sternen in zwei konzentrischen Kreisen folglich $18 + 19 = 37$ Sterne, die vierte Ebene sinngemäß $24 + 37 = 61$ Sterne, die fünfte Ebene $30 + 61 = 91$ Sterne und die sechste Ebene $36 + 91 = 127$ Sterne usw. aufweisen, so daß die Addition dieser Zahlen einschließlich des Scheitelsterns (bzw. der Sonne) bis zum

1.	Schnitt	=	8	Sterne
2.	„	=	27	„
3.	„	=	64	„
4.	„	=	125	„
5.	„	=	216	„
6.	„	=	343	„

ergibt. Diese Zahlen sind nichts anderes als die Kubikzahlen von 2 bis 7, so daß der Kegelraum von seinem Scheitel bis zum n-ten Schnitt n^3 Sterne enthalten müßte, wenn der Scheitel als die erste schneidende Ebene angenommen wird.

Setzt man nun mit Herschel zur Berechnung der Länge der Sondierlinie (sounding line), des Visionsradius R, $\nu = 588$ und für den Durchmesser des Gesichtsfeldes 15′, so ergibt sich (wenn B den Durchmesser der Basis des großen rechtwinkligen Kegels im Verhältnis zu der des Gesichtsfeldkegels in der gleichen Entfernung darstellt)

$$R = \sqrt{(B^2\,\nu)} = 498\,,$$

d. h.: die Länge des Visionsradius wäre nicht kleiner als $(R - 1) = 497$ Siriusweiten. Würde dem Teleskop eine Reichweite von 1000 Siriusentfernungen eigentümlich gewesen sein, so hätten im Gesichtsfeld 4774 Sterne und bei 1500 Siriusweiten 16 096 Sterne sichtbar werden müssen, die sich allerdings so nahe gestanden haben würden, daß sie kaum zu unterscheiden gewesen wären. Anderseits wäre aber, wie Herschel meinte, zu erwarten, daß sich in seinem bis dahin verwandten Instrument das Licht der Sterne, die jenseits von 497 Siriusweiten anzutreffen seien, zu einem milchigen Schimmer vereinige, und zwar in dem Maße, wie uns der Andromedanebel erscheint und dessen Nebelschimmer, wie er folgerte, durch den „vereinigten Glanz von Millionen Sternen" hervorgerufen werde. Da ihm das 20füßige Teleskop bis dahin jedoch „keinen

solchen Nebel in der Milchstraße" zeigte, glaubte Herschel, daß sein Instrument ihn tatsächlich bis zu den Grenzen der Milchstraßenwelt vordringen ließ, in welcher er ein fernen Nebelsystemen analoges Gebilde erkannte, weil es unter den damals (bis 1785) von ihm entdeckten 900 Nebelflecken viele zu geben schien, „die aller Wahrscheinlichkeit nach ebenso weit ausgebreitet sind, als derjenige ist, den wir bewohnen".

Zur Ermittlung der Ausmaße des Sternsystems an Hand seiner Sterneichungen berechnete Herschel eine besondere (bis zu 100 Sternen jeweils um 1 Stern und dann jeweils um 10 Sterne je Gesichtsfeld fortschreitende) Tabelle, die bei bekannter Sternzahl sogleich die Länge des Visionsradius zu ermitteln gestattete. Nachstehend sei hieraus ein kurzer Auszug zusammengestellt (Tabelle 2). Darin bedeutet R die Länge der Sondierlinie in Siriusweiten.

Tabelle 2

Sterne	R	Sterne	R	Sterne	R
0,5	46	100	275	700	527
1	58	200	347	800	551
5	101	300	397	900	573
10	127	400	437	1 000	593
20	160	500	471	10 000	1280
50	218	600	500	100 000	2758

Mit Hilfe einer solchen Tafel schritt Herschel zur „Sektion unserer Sternschicht". — „Nehmen wir aus dieser Tafel die Visionsradien, welche den Eichungen entsprechen, und legen Linien, die denselben proportional sind, um einen Punkt herum, gemäß den ihnen zugehörigen geraden Aufsteigungen und Polardistanzen, so können wir ein Soldium machen mittels der Enden dieser Linien, die uns so viele Punkte in derselben geben werden." Den nach diesen Gesichtspunkten gewonnenen Schnitt durch das Sternsystem, der mit dem Himmelsäquator einen Winkel von 35° bildet und ihn bei 124,5° und 304,5° schneidet, also durch die Sternbilder Aquila, Aquarius, Pisces austr., Cetus, Eridanus, Monoceros, Hydra, Leo, Coma, Canes venat., Corona bor., Hercules führte, hat Herschel in einer Zeichnung dargestellt, die in Fig. 1 wiedergegeben ist. „In der Figur sind die Sterne am Rande, die ich größer als die übrigen gezeichnet habe, diejenigen, auf welche die Eichungen zutreffen. Die Zwischenplätze sind mit kleineren Sternen angefüllt, die zwischen den geeichten in geraden Linien hingestellt werden. Die bezeichnenden Punkte, obgleich ziemlich zahlreich, sind nicht so dicht, wie wir wohl wünschen möchten; es ist indessen zu hoffen, daß künftig einmal dieser Teil der Astronomie mehr werde bearbeitet werden, so daß wir Eichungen zum wenigsten für jeden Viertelgrad bekommen werden, und zwar solche, die oft und in den günstigsten Umständen wiederholt werden." — „Da dieser Gegenstand ganz neu ist, so sehe ich das hier Vorgetragene zum Teil nur als eine Probe an, den Geist der Methode ans Licht zu setzen, daß unser Nebelfleck ... eine sehr ausgebreitete, zusammengesetzte Anhäufung von vielen Millionen Sternen ist." Die Zahl der Sterne im Kern dieser Sternansammlung schätzte Herschel auf 4,5 Millionen, während er die Gesamtzahl aller Sterne des Sternsystems mit etwa 20 Millionen annahm.

In diesem Weltsystem sollte die Sonne ihren Platz etwa an der Stelle haben, die in der Mitte der Fig. 1 durch einen großen Stern bezeichnet ist. Herschel hielt es für wahrscheinlich, daß „die Sonne sich in einer von den großen Sternschichten befinde, und allen Vermutungen nach nicht fern von der Stelle, wo irgendeine kleinere Schicht als Zweig davon ausläuft". Als mittlere Dicke der nach seiner Ansicht linsenförmig gestalteten Sternschicht nahm Herschel 155 Siriusweiten und den Durchmesser mit 850 Siriusweiten an. Dabei sollte diese Linse nach der einen Seite in zwei Scheiben gespalten sein, die sich in einer Distanz von 220 Siriusweiten trennen und bis 497 bzw. 420 Siriusweiten reichen.

Der provisorischen Bedeutung dieser Ergebnisse war Herschel sich durchaus bewußt. Infolgedessen gelangte er später, namentlich im Hinblick darauf, daß die Entdeckungen von physischen Doppelsternsystemen die Gültigkeit des Gravitationsgesetzes auch in der Welt der Fixsterne erwiesen hatte und dadurch der Zusammenschluß vieler Sterne zu besonderen Systemen wahrscheinlich wurde, zu der Überzeugung, daß eine gleichförmige Verteilung der Sterne im Raume ausgeschlossen sei. Diese Erkenntnisse bildeten den äußeren Anlaß dazu, seine Ansichten vom Bau des Himmels einer allgemeinen Korrektur zu unterziehen, indem er versuchte, mit Hilfe der Sternhelligkeiten, also auf photometrischem Wege, zu neuen Einsichten zu gelangen. Dabei blieb er allerdings dessen gewiß, daß ein Stern mit geringerer scheinbarer Helligkeit im Mittel weiter entfernt sein müsse als ein Stern mit hellerem Licht, und zwar auch dann, wenn die Voraussetzung der Gleichheit der absoluten Helligkeiten nicht zutreffend sein sollte.

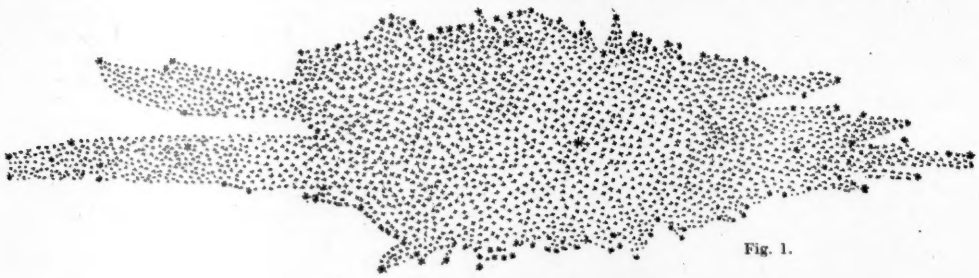


Fig. 1.

Der nächste Schritt bestand nun in der Bestimmung der „raumdurchdringenden Kraft" des bei den Sterneichungen benutzten Teleskops. Zu diesem Zweck verwandte er zwei Fernrohre mit verschiedenen Öffnungen, bei denen er durch Beobachtungen terrestischer Objekte ermittelt hatte, daß diese in dem größeren Instrument bei doppelter Entfernung dieselbe Helligkeit aufwiesen wie im kleineren Fernrohr bei halber Entfernung. Auf die Sterne angewandt, besagte das, daß von zwei verschieden hellen Sternen, von denen der hellere in dem kleineren Instrument dieselbe Helligkeit zeigte wie der schwächere in dem stärkeren Fernrohr, bei Annahme nahezu gleicher (mittlerer) absoluter Helligkeiten der mit dem größeren Rohr beobachtete Stern doppelt so weit

entfernt sein müßte wie der andere. Daraus folgte einerseits, daß die mit unbewaffnetem Auge gerade noch sichtbaren Sterne 12 Siriusweiten entfernt waren, und anderseits, daß Herschels 20füßiger Reflektor in einer Distanz von 191.75 Siriusweiten einen Stern noch ebenso hell zeigte, wie ihn das unbewaffnete Auge in der Entfernung 1 zu sehen vermochte. In Ansehung dessen, daß der Untergrund des Himmels an einigen Stellen in der Milchstraße (im Gegensatz zu Herschels früheren Anschauungen) doch ein weißliches Aussehen zeigte, das sich mit seinen größten Teleskopen nicht mehr in Sterne auflösen ließ, mußte sich das Sternsystem demnach über die ursprünglich angenommenen Grenzen hinaus ausdehnen und in eine Entfernung bis zu $12 \times 191.75 = 2300$ Siriusweiten hinein erstrecken.

Im Zuge dieser Betrachtungen dachte Herschel sich die Sonne von einem Sphärensystem umgeben, in welchem der Radius der ersten Sphäre (der Einheitssphäre) der Entfernung des nächsten Fixsterns entsprechen sollte, und den er daher auch als Entfernungseinheit in dem sich anschließenden größeren System von Sternsphären (mit den Radien 3, 5, 7, 9, 11 usw.) ansah. Da der Rauminhalt der Kugelsysteme dem Kubus ihrer Durchmesser proportional ist, müßte die erste auf die Einheitssphäre folgende Sphäre $3^3 = 27$mal dem Inhalt der Einheitssphäre entsprechen und deshalb groß genug sein, um 27 Sterne zu enthalten. Die zweite Sphäre würde dann $5^3 = 125$ mal, die dritte $7^3 = 343$ mal, die vierte $9^3 = 729$ mal und die fünfte $11^3 = 1331$ mal größer sein als die Einheitssphäre, und demgemäß würden in den Zwischenräumen jener Kugelschalen (27 — 1 =) 26 Sterne, (125 — 27 =) 98 Sterne, (343 — 125 =) 218 Sterne, (729 — 343 =) 386 Sterne und (1331 — 729 =) 602 Sterne usw. Platz finden können. Indem er nun die Sterne zwischen der 1. und 3. Sphäre als der ersten „Ordnung der Entfernung" angehörig ansah und die zwischen der 3. und 5. der zweiten „Ordnung" zuwies, ergab sich für ihn bei dem Vergleich der Sterne zwischen den jeweiligen Sphären und der auf jede Größenklasse entfallenden Sternzahl das folgende Bild (Tabelle 3):

Tabelle 3.

Ordnung der Entfernung	Zahl der Sterne	Größenklasse	Zahl der Sterne dieser Größe
1	26	1	17
2	98	2	57
3	218	3	206
4	386	4	454
5	602	5	1161
6	866	6	6103
7	1178	7	6146
8	1538		

Diese Gegenüberstellung zeigt, daß ein augenscheinlicher Zusammenhang zwischen den Sternzahlen offenbar nicht zu bestehen scheint. Jene Eigentümlichkeit sollte nach Herschel daher rühren, daß die Größenklassen der Sterne mittleren Entfernungen entsprachen, die von seiner Skala ganz verschieden waren; denn seinen Rechnungen gemäß erfolgte die Entfernungszunahme jeweils in arithmetischer Progression, während das Anwachsen der Entfernungen bei den Größenklassen in geometrischer Progression geschah. Infolgedessen müßten die Sterne der Helligkeitsstufe 6^m der achten, neunten oder zehnten Ordnung der Entfernung entsprechen, so daß ein Stern 1^m in die acht-, neun- oder zehnfache Entfernung zu versetzen wäre, damit er als Stern der Größenklasse 6^m erscheinen könne.

Die daran geknüpften Bemühungen Herschels, auf diesen veränderten Grundlagen zu neuen Vorstellungen von der Ausdehnung des Sternsystems zu gelangen, führten ihn am Ende zu der Gewißheit, daß sein 20füßiges Teleskop zu derartig weittragenden Schlüssen nicht ausreiche. Er scheint dann aber auch mit seinem 1789 vollendeten 40füßigen Reflektor in dieser Hinsicht keine neuen ausgedehnteren Untersuchungen mehr unternommen zu haben, da auch dieses Instrument ihn bezüglich der Ausdehnung der Milchstraße in demselben Zweifel ließ wie das vorher bei den Sterneichungen benutzte Teleskop.

Obwohl Herschel mit seinen Riesenfernrohren tiefer in die Sternenwelt eindrang, als dieses je einem Astronomen vorher vergönnt gewesen oder auch noch ein halbes Jahrhundert nach ihm möglich war, so hat er doch über seine Ansichten vom Bau des Himmels kein abschließendes Urteil hinterlassen. Er war aber bis zuletzt von der Überzeugung durchdrungen, daß die Milchstraße aus einer Anhäufung von lockeren und dichter gedrängten Sternhaufen bestehe, die untereinander nur in einem losen Zusammenhang stehen mochten und in einer längs der Ebene der Milchstraße bis in unermeßliche Fernen sich ausdehnenden dünnen Schicht angeordnet sind. Einem solchen Sternhaufen sollte auch die Sonne angehören.

Mit diesem Lebenswerk ist Wilhelm Herschel der eigentliche Begründer der Stellarastronomie (und in gewissem Sinne auch der Stellarstatistik) geworden, ein Werk, das — wie er schon zu Anfang (1784) bekannte — „die vereinigte Anstrengung aller Astronomen zu erfordern" scheine, so daß „wenn man mit aller Macht an Verbesserungen der Teleskope ... arbeiten und selbige mit Emsigkeit zur Erforschung des Himmels brauchen wird, wir von dem inneren Bau des Himmels mit der Zeit einige, wenngleich nur geringe Kenntnis erlangen und vielleicht dann imstande sein werden, teilweise einen Abriß davon zu machen". Zu diesen Forschungen, die erst im 20. Jahrhundert zu sicheren Anschauungen führten, hat Herschel durch seine Arbeiten das Fundament geschaffen.

Heute wissen wir, daß die von Herschel zugrunde gelegten Annahmen den tatsächlichen Verhältnissen im Sternsystem nicht annähernd entsprechen, sowohl in bezug auf die Verteilung der Sterne, ihre Leuchtkräfte und Entfernungen als auch bezüglich der Ausdehnung und des inneren Aufbaues des Sternsystems der Milchstraße. Allein die von Herschel angewandten Methoden und die damit verbundenen methodischen Leistungen sind bis in die Gegenwart hinein richtungweisend geblieben, ist doch der von Kapteyn aufgestellte Plan, in 206 ausgewählten und gleichmäßig über den gesamten Himmel verteilten Sternfeldern (Plan of Selected Areas) alle für stellarastronomische Forschungen notwendigen Daten zu gewinnen und dann durch Analogieschlüsse die Verhältnisse in den zwischen den Selected Areas gelegenen Bereichen herzuleiten, im Grunde genommen als eine Fortsetzung der Herschelschen Sterneichungen nach modernen Gesichtspunkten aufzufassen.

Eingegangen am 5. September 1947.

Literatur.

(1) Herschel, William, Über den Bau des Himmels. Drei Abhandlungen von 1784, 1785 und 1789, übersetzt von G. M. Sommer, Königsberg (1791). — (2) Littrow, J. J. v., Die Wunder des Himmels, 6. Aufl., Berlin (1878). — (3) Kobold, H., Das Sternsystem. Kultur der Gegenwart, Teil III/3, Bd. 3: Astronomie, Leipzig (1921). — (4) Kobold, H., Stellarastronomie. Enzyklopädie der math. Wissenschaften, VI/ 2B, Leipzig (1924). — (5) Pahlen, E. v. d., Lehrbuch der Stellarstatistik, Leipzig (1937). — (6) Wolf, R., Geschichte der Astronomie, München (1877).

Alte und neue Probleme der kinetischen Gastheorie.

Von K. Schäfer.

(Fortsetzung und Schluß.)

Transportphänomene in Gegenwart elektrischer und magnetischer Felder.

Ganz kurz sei auf einige charakteristische Erscheinungen hingewiesen, die man zuerst nur experimentell beobachtet hat, ohne für sie eine quantitative theoretische Erklärung geben zu können.

Untersucht man die erwähnten Transportphänomene bei Anwesenheit starker magnetischer Felder ($H \approx 10\,000$ *Gauss*), so beobachtet man kleinere Werte der Viskositäts- und Wärmeleitfähigkeitskonstanten als ohne Feld, sofern es sich um paramagnetische Gase handelt. Der Effekt[21]) ist relativ klein, er wächst natürlich mit steigender Feldstärke; man erreicht Grenzwerte von η bzw. λ, die um 1—2% kleiner sind als die ohne Feld bestimmten Werte. Eine quantitative Deutung dieses Effektes wurde erst durch Gorter und durch F. Zernike und C. van Lier (23) (24) gegeben auf Grund der Tatsache, daß die magnetische Dipolachse der paramagnetischen Molekeln bei der allgemeinen Rotation der Molekeln eine Präzessionsbewegung um die Feldrichtung beschreibt. Da die in Betracht kommenden Molekeln nun gewöhnlich keine reine kugelförmige, sondern eine zunächst länglich elliptische Gestalt besitzen, so wird durch die erwähnte Präzessionsbewegung der Stoßquerschnitt vergrößert. Diese Vergrößerung ist prinzipiell von einer ähnlichen Natur wie die auf S. 106 erwähnte Vergrößerung des Stoßquerschnitts bzw. die damit parallel gefundene Verringerung der mittleren freien Weglänge um einen Faktor α ($\sim 0{,}7$). Wenn also auch hier durch den Einfluß des magnetischen Feldes die mittlere freie Weglänge herabgesetzt wird, so ist sofort einleuchtend, daß dadurch die Wärmeleitfähigkeit usw. verkleinert wird. Weiter kann aber die Stoßquerschnittsvergrößerung durch die Präzessionsbewegung nicht über ein bestimmtes Maß hinausgetrieben werden, weil durch die Präzession ja gewissermaßen nur die kleine Achse des Molekelellipsoids der größeren angenähert wird, womit bereits eine Schranke gesetzt ist (die übrigens nicht voll erreicht werden kann wegen der Orientierung der paramagnetischen Achse in den verschiedenen Raumrichtungen zur Flugbahn der Teilchen, und der ohnehin vorhandenen Rotation, die für eine Ausschmierung der elliptischen in eine Kugelgestalt sorgt [Fußnote 2]); somit ergibt sich, daß der ganze Effekt eine Sättigung erreicht.

Prinzipiell ähnlich verhält es sich, wenn an Stelle der magnetischen Felder elektrische Felder benutzt werden und die zu untersuchenden Molekeln elektrische Momente besitzen. Auf weitere Einzelheiten dieser Erscheinungen und auf die quantitative Erfassung der Theorie mag hier verzichtet werden, zumal es sich um relativ geringfügige Effekte handelt, obschon der Senftleben-Effekt neuerdings auch zu analytischen Zwecken Verwendung gefunden hat[22]).

Extreme Bedingungen.

Auf S. 105 hatten wir betont, daß es zweckmäßig sei, die Betrachtungen auf Zustände mäßiger Dichte zu beschränken, da nur so eine relativ einfache Erfassung der Stöße möglich sei. Wenn wir diese Einschränkung fallen lassen, so gelangen wir einerseits zu Gasen großer Dichte, auf der anderen Seite zu solchen extrem geringer Dichte. Bei letzteren spielen die Zusammenstöße der Teilchen untereinander nur eine untergeordnete Rolle; es überwiegen schließlich die Stöße der Gasmolekeln mit den Gefäßwänden, wodurch sozusagen die mittlere freie Weglänge nicht durch die Dichte des Gases, sondern durch die Geometrie des das Gas enthaltenden Gefäßes bestimmt ist. Die mittlere freie Weglänge ist dann konstant und nach den auf S. 106 angegebenen Formeln der elementaren Theorie werden dann Wärmeleitfähigkeit und Viskosität proportional zu ${}^1N$, d. h. zur Dichte des Gases im Gegensatz zur früher festgestellten Unabhängigkeit dieser Größen vom Druck. Von einer eigentlichen Diffusion kann man dann nicht mehr reden; die Ausbreitung der einzelnen Teilchen erfolgt ja über das ganze Gefäß mit Molekulargeschwindigkeit. Zwischen den Erscheinungen bei mäßigem Druck und denen bei extrem geringen Drucken gibt es natürlich einen stetigen Übergang.

Da für dieses ganze Erscheinungsgebiet die Stöße im *Gas* oft nicht so entscheidend ins Gewicht fallen wie die Eigenschaften der *Oberflächenbegrenzung* des der Untersuchung dienenden Gefäßes, so wollen wir hier nicht weiter auf die hiermit verbundenen Phänomene eingehen[23]).

Dagegen seien kurz die wesentlichsten Korrekturen erwähnt, die man an den bisherigen Überlegungen anbringen muß, wenn man die Verhältnisse in Gasen von hohem Druck behandeln will.

Die Erfassung eines Zusammenstoßes ist hier wesentlich schwieriger, wenn man die die Teilchen umgebenden Kraftfelder berücksichtigt, da bei hoher Dichte die Teilchen eventuell dauernd in der Einflußsphäre der Nachbarteilchen verbleiben; legt man jedoch das Modell der starren Kugeln ohne weitere Wechselwirkungskräfte zugrunde, so hat man den Vorteil, daß man sich wesentlich auf Zweierstöße beschränken kann. Dieser rechnerische Vorteil bringt natürlich den Nachteil mit sich, daß das Modell den Tatsachen Zwang antut, jedoch ist die Theorie für andere Modelle noch nicht durchgeführt worden.

Die große Dichte bringt es mit sich, daß im Ausdruck für die Stöße zwischen zwei Molekeln der Geschwindigkeiten (u, v, w) und $(\bar{u}, \bar{v}, \bar{w})$, wofür wir früher ${}^1N^2 \int\int \sigma^2 \mathfrak{B} \cos\vartheta \, d\bar{u}\, d\bar{v}\, d\bar{w}\, d\omega$ angegeben hatten, ein Korrektionsfaktor einzufügen ist, außerdem muß sogar beachtet werden, daß die Raumpunkte, an denen die Zentren der Teilchen sich im Moment des Stoßes befinden, ein wenig auseinanderfallen. Dieser letzte Umstand konnte früher vernachlässigt werden, da diese Koordinatendifferenz klein gegen die mittlere freie Weglänge war.

Der erwähnte Korrektionsfaktor berücksichtigt einerseits die Tatsache, daß das sogenannte freie Volumen des Gases, das auch bei der elementaren Betrachtung der van der Waalsschen Gleichung eine Rolle spielt, kleiner als das tatsächlich gemessene Volumen ist, so daß bei der Berechnung der geometrischen Stoßwahrscheinlichkeit die Zahl ${}^1N$ gewissermaßen vergrößert werden muß. Zum andern wird die Stoßwahrscheinlichkeit herabgesetzt durch die gegenseitige Behinderung der Molekeln beim Stoß. So kann z. B., wenn zwei Teilchen sich ohne zu stoßen so dicht beieinander befinden, daß zwischen ihren Oberflächen ein geringerer Abstand als σ verbleibt, keine dritte Molekel mit einer der beiden so zusammenstoßen, daß die Verbindungslinie (*Zentrilinie*) der Molekelmittelpunkte beim Stoß die gestoßene der beiden ursprünglichen Teilchen an einer Oberflächenstelle schneidet, die in der Nähe des Treffpunktes der Verbindungslinie der beiden Mittelpunkte der beiden ersten Teilchen liegt. Es kann sich

[21]) Er wird nach seinen Entdecker H. Senftleben als Senftlebeneffekt bezeichnet.

[22]) Es handelt sich um die Analyse von (N_2 — O_2)-Gemischen. Die Viskositäten von strömendem N_2 und O_2 wurden relativ gegeneinander in einer Anordnung gemessen, die der Wheatstoneschen Brückenschaltung der Elektrizität analog ist. Beim Einschalten des magnetischen Feldes gibt es dann einen Ausschlag, der dem O_2-Gehalt etwa proportional ist (nach H. Rein).

[23]) Man vgl. hierzu etwa den Artikel von K. F. Herzfeld im Hand- und Jahrbuch der Chemischen Physik. Bd. 3, Teil 2, Abschnitt IV. Leipzig (1939).

also ein drittes, tatsächlich zum Stoß kommendes Teilchen nicht dazwischen schieben. Beide Einflüsse geben zusammen Anlaß zu einem Korrektionsfaktor der Größe $\chi = 1 + \frac{5}{8}\varrho b + 0{,}29\,\varrho^2 b^2$, wo ϱ die Dichte des Gases und b das van der Waalssche Kovolumen $\left(b = \frac{2\pi}{3}\,{}^1N\sigma^3\right)$ pro cm³ des Gases ist.

Durch diese Korrektionen wird im wesentlichen der Ausdruck $\left[\frac{\partial\,({}^1N f)}{\partial t}\right]_{\text{Stöße}}$ in der Fundamentalgleichung betroffen, wodurch sich die Korrektion auf die Verteilungsfunktion und damit auch auf die aus ihr zu gewinnenden Transportgrößen überträgt. Ohne weiter die einzelnen Schritte des Berechnungsverfahrens näher zu verfolgen, die sich übrigens zwangsläufig an die früher bei Gasen mäßiger Dichte eingeschlagenen Wege anschließen, seien einige Resultate kurz angegeben.

Für die Viskosität ergibt sich, wenn mit η_0 die normale Viskosität bezeichnet wird:

$$\eta = \eta_0\, b\,\varrho\left(\frac{1}{b\,\varrho\,\chi} + \tfrac{4}{5} + 0{,}76\, b\,\varrho\,\chi\right),$$

wofür man in erster Näherung $\eta = \eta_0\,(1 + 0{,}175\, b\,\varrho)$ schreiben kann; die Viskosität ändert sich also linear mit der Dichte bzw. dem Druck, wobei jedoch zu bemerken ist, daß sich erst bei 100 Atmosphären Zunahmen des η-Wertes von $\approx 10\,\%$ ergeben. Die Übereinstimmung mit dem Experiment ist (bis 100 atm.) gut, ja die Formel liefert die Tatsache, daß η/ϱ für einen Wert von $b\,\varrho\,\chi \approx 1{,}15$ ein Minimum durchlaufen sollte, was tatsächlich beobachtet werden konnte[24]). Auch liegen Anhalte dafür vor, daß wohl die entwickelte Theorie auch noch auf Flüssigkeiten — natürlich unter gewissen Einschränkungen — anwendbar sein dürfte.

Für die Wärmeleitung erhält man ganz entsprechend, wenn mit λ_0 die normale Wärmeleitfähigkeit bezeichnet wird:

$$\lambda = \lambda_0\, b\,\varrho\left(\frac{1}{b\,\varrho\,\chi} + \tfrac{6}{5} + 0{,}76\, b\,\varrho\,\chi\right),$$

wofür in erster Näherung $\lambda = \lambda_0\,(1 + 0{,}575\, b\,\varrho)$ gesetzt werden kann. Es ergibt sich für $f = \frac{\lambda M}{C_v \eta}$, ein Verlauf, der bei 2,522 beginnend bei $b\,\varrho\,\chi = 1{,}13$ ein Maximum von 2,914 erreicht, um schließlich auf 2,509 bei extrem hohen Dichten abzusinken. Die Übereinstimmung mit experimentellen Daten läßt jedoch zu wünschen übrig. Die Druckabhängigkeit von λ ist meist wesentlich größer und stark von der Temperatur abhängig.

Wie schon in Fußnote 5 bemerkt wurde, beruht dies wesentlich auf der Tatsache, daß sich im Gase bei höheren Dichten in merklicher Zahl Doppelmolekeln bilden, die in den wärmeren Teilen des Gefäßes dissoziieren und in den kälteren assoziieren, wodurch ein zusätzlicher Transport an Dissotiationsenergie von warm nach kalt bewirkt wird, der den Wärmetransport merklich heraufsetzt. Bei Steigerung der Temperatur nimmt die Zahl der Doppelmolekeln wesentlich ab, womit die starke Temperaturabhängigkeit des Effektes ihre Erklärung findet.

Wir sehen, daß auf die Erscheinung der Viskosität die Vereinfachung, die hier durchweg betreffs des Molekelmodells getroffen ist, offenbar von untergeordneter Bedeutung ist, während sie für das Versagen bei der Anwendung auf das Wärmeleitvermögen entscheidend ist.

[24]) Chapman-Cowling S. 289.

Für die Diffusion ergibt sich bei hohen Dichten ein Ausdruck der Form $D_{12} = (D_{12})_0/\chi_{12}$, wo χ_{12} ähnlich dem früheren Korrektionsfaktor durch

$$\chi_{12} = 1 + \frac{\pi}{12}\,{}^1N_1\,\sigma_1^3\left(8 - 3\frac{\sigma_1}{\sigma_{12}}\right) + \frac{\pi}{12}\,{}^1N_2\,\sigma_2^3\left(8 - 3\frac{\sigma_2}{\sigma_{12}}\right)$$

gegeben ist, der sich im Falle $\sigma_1 = \sigma_2$, ${}^1N_1 = {}^1N_2 = {}^1N/2$ auf den früheren Korrektionsfaktor reduziert. Da die Diffusion ohnehin stark vom Druck abhängt ($(D_{12})_0 \sim \frac{1}{\varrho}$ wegen $\frac{D\varrho}{\eta} \approx \text{const}$ und der Druckunabhängigkeit von η_0), ist, dieser kleine Zusatzeffekt offensichtlich noch nicht genauer experimentell untersucht worden, weshalb wir uns hier mit dieser kurzen Ausführung über die Diffusion begnügen wollen.

Thermodiffusion.

Wie eingangs erwähnt, besitzt der Effekt der Thermodiffusion, der darin besteht, daß sich Gase einer Mischung, sowie sie in ein Temperaturgefälle gebracht werden, partiell entmischen, neuerdings eine große Bedeutung. Obwohl der Effekt selbst nicht groß ist, gelang es (1) durch geschickte Anordnung, denselben viele Male kaskadenförmig hintereinander zu schalten, so daß schließlich eine derartig hohe Trennung zustande kam, daß sogar Isotope voneinander getrennt werden konnten.

Auf S. 140 hatten wir den Effekt bereits prinzipiell an Hand der dort behandelten Mischung eines leichten und eines im Verhältnis dazu sehr schweren Gases kennengelernt. Es ergab sich dort, daß die Dichte der leichten Teilchen proportional zu $T^{-\frac{n+3}{2(n-1)}}$ verläuft, d. h., daß nur im Falle $n = 5$ die Proportionalität mit T^{-1} vorliegt, die man nach dem Gasgesetz normalerweise erwarten würde, wenn die einzelnen Teile des Gases auf verschiedene Temperaturen gebracht werden. Dieses Verhalten der leichten Teilchen zieht naturgemäß ein entsprechendes der schweren nach sich, so daß im Durchschnitt die Gesamtdichte des Gases mit T^{-1} in der Mischung variiert. Wegen der verschiedenen Art, in der die leichten und schweren Teilchen sich einem Temperaturgradienten anpassen, erhalten wir daher eine Entmischung, also die Thermodiffusion, wenn nicht $n = 5$ vorliegt[25]). Da meist $n > 5$ angenommen werden darf, wird im allgemeinen das leichte Gas auf der Seite der höheren Temperatur (und das schwere auf derjenigen tieferer Temperatur) einen größeren Molenbruch besitzen als auf der anderen Seite; bei $n < 5$ sind die Verhältnisse umgekehrt.

Aus der auf S. 140 angegebenen Beziehung erhalten wir direkt:

$$\frac{1}{{}^1N_1}\cdot\frac{\partial\,{}^1N_1}{\partial x} = -\frac{1}{T}\frac{\partial T}{\partial x} + \tfrac{1}{2}\frac{n-5}{n-1}\frac{1}{T}\frac{\partial T}{\partial x}.$$

Das erste Glied auf der rechten Seite zeigt die Änderung von ${}^1N$ mit der Temperatur auf Grund des Gasgesetzes allein an, das zweite ergibt den Einfluß der Thermodiffusion. Erweitern wir hier die linke Seite mit $({}^1N_2 + {}^1N_1)$, so entsteht dort $\frac{1}{\gamma_1}\cdot\frac{\partial\gamma_1}{\partial x}$, und wir erhalten aus dem zweiten Glied der rechten Seite für den eigentlichen Thermodiffusionseffekt die Beziehung

$$\left(-\frac{\partial\gamma_2}{\partial x} = \right)\frac{\partial\gamma_1}{\partial x} = \tfrac{1}{2}\frac{n-5}{n-1}\gamma_1\frac{1}{T}\frac{\partial T}{\partial x}.$$

[25]) Die Beschränkung auf den Fall $n = 5$ bei Boltzmann und Maxwell führte eben dazu, daß ihnen der Thermodiffusionseffekt entging.

Diese Gleichung hat man nun zur Definition eines phänomenologischen Thermodiffusionskoeffizienten k_T benützt. Das sich im stationären Zustande einstellende Gefälle des Molenbruchs der schweren Komponente (oben mit γ_2 bezeichnet), für die $\frac{\partial \gamma_2}{\partial x} = -\frac{\partial \gamma_1}{\partial x}$ wegen $\gamma_1 + \gamma_2 = 1$) gilt, wird proportional zu $\frac{1}{T}\frac{\partial T}{\partial x}$ gesetzt; der dimensionslose Faktor ist die negative Thermodiffusionskonstante für den stationären Zustand und wird meist mit $-k_T$ bezeichnet. Man setzt also allgemein

$$\frac{\partial \gamma_2}{\partial x} = -k_T \frac{1}{T}\frac{\partial T}{\partial x} \text{ bzw. integriert } \Delta\gamma = -k \ln T_e/T_a.$$

(T_e = Temperatur am Ende und T_a = Temperatur am Anfang des Rohres.)

Für den oben behandelten Spezialfall erhält man $k_T = \frac{1}{2}\frac{n-5}{n-1}\gamma_1$; das Auftreten des Faktors γ_1 liegt offensichtlich daran, daß der Effekt natürlich verschwinden muß, wenn man nur die reine Komponente *2* übrig behält. Das gleiche muß natürlich der Fall sein, wenn $\gamma_1 = 1$ ist, so daß der obige Faktor nur eine Annäherung an den Fall kleiner Molenbrüche γ_1 darstellt; tatsächlich hatten wir auf S. 139/140 ja nur den Fall einer sehr kleinen Konzentration der leichten Teilchen diskutiert. Dort war dadurch die Vereinfachung erreicht worden, daß die leichten Teilchen praktisch nur mit den schweren zusammenstießen, und es waren nur solche Stöße berücksichtigt worden; im allgemeinen darf man jedoch nur die Stöße als für die Größe des Thermodiffusionseffektes maßgebend ansehen, die zwischen den verschiedenen Mischungspartnern vorkommen. Da diese letzteren proportional zu $\gamma(1-\gamma)$ sind, so wird man k_T als proportional zu $\gamma_1(1-\gamma_1) = \gamma_2(1-\gamma_2)$ ansetzen, also $k_T = \gamma(1-\gamma)\,\alpha$ schreiben, wo α ein von γ unabhängiger Thermodiffusionskoeffizient ist. Tatsächlich wird diese Vermutung durch die eingehende Theorie im wesentlichen bestätigt; jedoch zeigt sich, daß α dennoch eine restliche γ-Abhängigkeit besitzt.

Neben dieser für den stationären Zustand maßgebenden „Gleichgewichtskonstanten" unterscheidet man noch eine Thermodiffusionsgeschwindigkeitskonstante D_T, die für den Fall, daß plötzlich ein Temperaturgefälle in der Mischung erzeugt wird, in Analogie zum gewöhnlichen Diffusionskoeffizienten den Strom $\dot{n}_2$ von Materie pro cm^2 der einen Komponente beschreibt, der in Richtung des Temperaturgradienten bzw. in der Gegenrichtung einsetzt:

$$\dot{n}_2 = -D_T n \frac{1}{T}\frac{\partial T}{\partial x}.$$

(n hier gleich der Zahl der Mole pro cm^3 Gas.)

Die im Anschluß an diese Entmischung einsetzende gewöhnliche Diffusion (Rückdiffusion) sorgt dann für die Einstellung des stationären Entmischungsgefälles. Ebenso wie in der gewöhnlichen chemischen Reaktionskinetik das Verhältnis von Rückreaktionsgeschwindigkeit zur Bildungsgeschwindigkeit die Gleichgewichtskonstante liefert, so gilt $k_T = \frac{D_T}{D}$, so daß man sich bei Zahlenangaben auf eine der Größen — etwa k_T — beschränken kann.

Die aus der kinetischen Theorie gewonnenen Ergebnisse sind recht kompliziert und gestatten nur eine sehr umständliche Darstellung, darum begnügen wir uns mit kürzeren Zahl- und Formelangaben. Wenn die zwischenmolekularen Kräfte rasch abnehmen — in der Grenze für das Modell der starren Kugeln — erhält man bei starken relativen Massenunterschieden der Diffusionspartner positive k_T-Werte, d. h. das Gas mit dem größeren Molekulargewicht wandert bevorzugt ans kalte Ende. Die Größe von k_T ist in Abhängigkeit vom Molenbruch etwa proportional zu $\gamma(1-\gamma)$; die maximalen Werte von k_T werden jedoch nicht bei $\gamma = 0{,}5$ erreicht — wie man bei genauer Proportionalität mit $\gamma(1-\gamma)$ erwarten würde —, sondern sind nach der Seite eines Überschusses der leichten Komponente verschoben. Die k_T-Werte im Maximum sind von der Größenordnung 0,1 und ziemlich unabhängig von der speziellen Natur der Diffusionspartner.

Sind die Massenunterschiede gering (die Massen etwa gleich), so wandert die Molekel mit dem größeren Durchmesser ans kalte Ende; die k_T-Werte sind jedoch in diesen Fällen merklich kleiner als früher. Im Fall, daß die Stoßpartner Isotope von annähernd gleicher Masse sind, erhält man die relativ einfache, aber heute viel diskutierte Endformel

$$k_T = 0{,}76 \cdot \gamma(1-\gamma)\frac{m_2 - m_1}{m_2 + m_1},$$

wenn das Modell der starren Kugeln zugrunde gelegt wird. Experimentell werden meist Werte gefunden, die etwa halb so groß sind wie die berechneten[26]).

Vielfach benutzt man die Abweichungen der experimentell gefundenen k_T-Werte von den theoretisch unter Annahme des Modells der starren Kugeln berechneten, um einen Rückschluß auf den Exponenten n der zwischenmolekularen Kräfte zu ziehen, was ja möglich sein sollte, da bei $n = 5$ der Effekt gerade verschwindet, also die Größe des Effekts einen Anhalt über die Differenz $n - 5$ liefern sollte; wie wir aber noch sehen werden, ist dieser Schluß nicht ganz zwingend, weshalb wir von einer näheren Erörterung dieser Methodik hier absehen.

Im Anschluß an das Trennrohrverfahren von Clusius-Dickel sind in der letzten Zeit — vor allem in den angelsächsischen Ländern — Versuche gemacht worden, die Theorie der Thermodiffusion auch auf Molekelmodelle mit an- und abstoßenden Kraftfeldern auszudehnen[27]), da die Theorie der r^{-n}-Kräfte doch als unzureichend angesehen werden mußte.

Nachträglich konnte die Erscheinung der Thermodiffusion auch thermodynamisch-phänomenologisch hergeleitet werden (23); es läßt sich dies im Prinzip ähnlich erreichen, wie man thermodynamisch zeigt, daß beim Vorliegen von Temperaturdifferenzen notwendig solche Änderungen eintraten, die durch das Fließen eines Wärmestromes von warm nach kalt beschrieben werden. In isotropen Medien kann man den Wärmestrom dann in Richtung des negativen Temperaturgradienten dessen Größe proportional ansetzen; damit ist die Wärmeleitfähigkeit λ zwar als eben dieser Proportionalitätsfaktor eingeführt, aber über seine Größe kann so noch nichts ausgesagt werden. Die erwähnte phänomenologische Theorie der Thermodiffusion gelangte nun auch nur zu einer Proportionalität zwischen $\frac{\partial \gamma}{\partial x}$ und $\frac{1}{T}\frac{\partial T}{\partial x}$, ohne über das Vorzeichen und die Größe des Proportio-

[26]) Übrigens sei vermerkt, daß die von Chapman und Enskog in ihren ursprünglichen Originalarbeiten angegebenen Werte von k_T ein wenig voneinander abweichen; die Enskogschen Formeln ergeben z. B. an Stelle des Faktors 0,76 in der letzten Formel einen um 15% höheren Wert.

[27]) Den Zeitumständen entsprechend sind diese Arbeiten im Augenblick schwer zugänglich.

nalitätsfaktor seine Aussage machen zu können, was nicht verwunderlich ist, da ja die kinetische Theorie beide Vorzeichen möglich sein läßt und die Entscheidung erst auf Grund eines konkreten Molekelmodells treffen kann.

Neuerdings konnte jedoch auch eine thermodynamisch-statistische Methode, die von der Kenntnis der Größe und Temperaturabhängigkeit der andern Transportgrößen Gebrauch macht, zur Bestimmung der Größe von k_T herangezogen werden (24). Da k_T — wie oben erwähnt — etwas von der Natur einer Gleichgewichtskonstanten hat, ist dies vielleicht nicht zu verwunderlich, wenn man bedenkt, daß andere kinetische Resultate (die über λ und D) mit benutzt werden.

Den Ausgang bildet die Überlegung, daß in einem Rohre, dem ein stationäres Temperaturgefälle aufgeprägt wird, und das eine Gasmischung enthält, eine derartige Konzentrationsverschiebung eintreten will, daß in *jedem kleinen Rohrabschnitt* die Tendenz zur Entropievermehrung bemerkbar wird[28]). Es wird also an den Enden jedes kleinen Rohrstückchens — wie es auch die phänomenologische Theorie verlangt — ein Transport von Materie eintreten. Dabei mögen die Teilchen der Sorte 2 in Richtung von warm nach kalt wandern (es ist dadurch noch nichts über das Vorzeichen der Thermodiffusion gesagt, wenn wir vorerst offen lassen, welche Molekelart mit dem Index 2 bezeichnet werden soll). Da die Diffusionsprozesse im allgemeinen bei höherer Temperatur wesentlich schneller erfolgen als bei tiefer, so wird in das Rohrstückchen Materie der Sorte ‚2' insgesamt mehr einwandern als abwandern, so daß diese sich daselbst anzureichern strebt, während entsprechend Materie der Sorte 1 ausdiffundiert. Wegen dieser Anreicherungstendenz der Molekeln der Sorte 2 kann dieser Prozeß nur mit einem Entropiegewinn verbunden sein, wenn die Molekelsorte 2 eben eine größere Entropie besitzt als die Sorte 1, d. h. im allgemeinen bei einatomigen Gasen, wenn die Teilchen der Sorte 2 schwerer sind als die der Sorte ‚1' bzw. bei gleicher Masse, wenn die der Sorte 2 das größere *Trägheitsmoment* besitzen. In der obigen Ausdrucksweise läuft dies darauf hinaus, daß die Molekeln ‚2' den größeren Durchmesser besitzen müssen.

Somit sind wir im wesentlichen zu den Resultaten der kinetischen Theorie zurückgekommen (vgl. S. 168). Der Thermodiffusionsprozeß erreicht nun sein Ende, d. h. die stationäre Entmischung stellt sich ein, wenn die mit einer weiteren Entmischung in einem kleinen Rohrstück immer verbundene Abnahme der Entropie durch die Zunahme infolge des weiteren Eindiffundierens der Molekelsorte 2 gerade kompensiert wird — (die erwähnte Abnahme erfolgt um so rascher, je größer die Entmischung bereits ist, da beim Fehlen einer Entmischung in isothermen Systemen ein Entropiemaximum vorliegt und die Abnahme einer jeden Funktion, je mehr man sich von der Stelle des Maximums entfernt, zunächst um so rascher geschieht). Aber auch die Tatsache, daß bei r^{-5}-Kräften der Effekt verschwindet, wird durch diese thermodynamisch-statistische Berechnungsmethode geliefert. Es ist nämlich wegen der im allgemeinen erfolgenden Zunahme der Wärmeleitfähigkeit λ mit der Temperatur der Temperaturgradient in den kalten Rohrteilen größer als in den wärmeren, so daß durch diesen Umstand die Thermodiffusionsgeschwindigkeit am kalten Ende des eben betrachteten Rohrstückchens heraufgesetzt wird; lediglich durch die größere Abnahme des gewöhnlichen Diffusionskoeffizienten beim Übergang von warm nach kalt wird dieser Effekt normalerweise überkompensiert. Aber man erkennt leicht, daß dies nicht mehr der Fall ist, wenn $\frac{\partial \lambda}{\partial T} : \lambda$ eine gewisse Größe überschreitet. Diese Grenze wird nun, wie die Durchführung der Berechnung lehrt, erreicht, wenn λ proportional zu T ist, was bei einatomigen Molekeln gerade für den Fall der r^{-5}-Kräfte zutrifft (S. 142/143).

Diese Vorstellung hat inzwischen eine wesentliche Stütze dadurch erfahren, daß es gelang, durch Herstellung extremer Wärmeleitfähigkeitsverhältnisse in einem Thermodiffusionsrohr — dies wurde durch Zusatz einer dritten Komponente erreicht, die in dem der Untersuchung zugrunde liegenden Temperaturgebiet dissoziiert, wodurch sowohl $\frac{\partial \lambda}{\partial T} < 0$ wie auch λ stärker als proportional zu T gemacht werden kann — die Trenneffekte einerseits um ein mehrfaches zu steigern, zum andern das Vorzeichen des Trenneffekts umzukehren. Zudem konnte auch eine Entmischung von oH_2 und pH_2 nachgewiesen werden, die nach der alten Theorie nicht möglich sein sollte wegen der Gleichheit der Massen und der Gleichheit der Molekeldurchmesser (vgl. S. 168), die aber wegen der Verschiedenheit der Entropien von oH_2 und pH_2 (und Molwärmen) bei Temperaturen unter Zimmertemperatur nach der thermodynamisch-statistischen Theorie zu fordern war (25). In der kinetischen Theorie der Thermodiffusion wird bislang generell die Übertragung von Rotationsquanten vernachlässigt. Es ist aber einleuchtend, daß wegen der Verschiedenheit der Größe dieser Quantensprünge beim oH_2 und pH_2 die Stoßbedingungen bei Stößen zwischen gleichen und verschiedenen H_2-Stoßpartnern Unterschiede aufweisen müssen, wodurch eben ein Thermodiffusionseffekt bedingt ist. Man erkennt an Hand dieser Auffassung besonders, daß die aus den beobachteten Thermodiffusionseffekten gezogenen Schlüsse über die zwischenmolekularen r^{-n}-Kräfte sehr zweifelhafter Natur sind, insbesondere bei mehratomigen Teilchen.

Schließlich sei noch eine interessante Umkehr des Thermodiffusionseffektes erwähnt, die zum erstenmal von Clusius und Waldmann (26) 1942 experimentell nachgewiesen wurde, obwohl prinzipiell diese Umkehr schon in den Formeln von Enskog enthalten ist, jedoch früher keine Beachtung gefunden hatte. Wenn in einem eine Gasmischung enthaltenen Rohre ein stationäres Konzentrationsgefälle herrscht, so sucht sich ein Temperaturgradient einzustellen nach der Beziehung

$$\frac{\partial T}{\partial x} = -\frac{\alpha\, p\, D_{12}}{\lambda} \frac{\partial \gamma}{\partial x},$$

wo α die mit k_T gemäß $k_T = \gamma(1-\gamma)\,\alpha$ zusammenhängende Größe ist, D_{12} der Diffusionskoeffizient, λ die Wärmeleitfähigkeit und p der Druck. Das Vorzeichen dieses Umkehreffektes ist so, daß der Effekt der normalen Thermodiffusion entgegenläuft, insofern sich nämlich in einem derartigen Gemisch im allgemeinen die Seite erwärmt, auf der sich die höhere Konzentration der leichten Komponente befindet. Der Effekt selbst wird in letzter Zeit benutzt, um die Thermodiffusionskonstante α bequem zu messen, indem man zwei Gaskomponenten ineinander diffun-

[28]) Diese Formulierung stellt gewissermaßen eine erweiterte Fassung des zweiten Hauptsatzes dar, in den sie bei isothermen Prozessen übergeht. Der Satz ist in dieser Fassung nur direkt zur Berechnung zu gebrauchen, wenn die Molwärmen der Thermodiffusionspartner einander gleich sind, was bei einatomigen Gasen, wie sie in der kinetischen Theorie betrachtet wurden, immer zutrifft. Auf die Komplikationen bei Partnern mit verschiedenen Molwärmen gehen wir hier nicht ein.

dieren läßt und die dabei auftretenden Temperaturunterschiede beobachtet. Die Voraussetzung dieser Meßmethode ist aber im allgemeinen die, daß a nicht vom Molenbruch γ abhängt, was keineswegs zutrifft. Wegen näherer Einzelheiten vgl. die Originalliteratur.

Quantentheorie und Transportphänomene.

Es bleibt noch zu untersuchen, wie durch die von der klassischen Theorie abweichenden Aussagen der Quantentheorie die bisherigen Aussagen der kinetischen Gastheorie modifiziert werden müssen. Im wesentlichen beschränkt sich die Korrektur wieder auf eine genauere Erfassung des Begriffs des Molekularquerschnitts und der damit zusammenhängenden Frage nach der mittleren freien Weglänge.

Nun muß man den Stoß einer Partikel gegen eine andere nach der Quantenmechanik als eine Beugungs- oder Streuungserscheinung einer de Broglie-Welle an einem Hindernis betrachten. Dieser Streuprozeß erfolgt nur dann klassisch, wenn die de Broglie-Wellenlänge klein ist gegen die Lineardimensionen des Hindernisses, also insbesondere bei höheren Geschwindigkeiten, d. h. bei höheren Temperaturen. Es läßt sich also hier auch im Falle des Modells der starren Kugeln nicht mehr von einem definierten Durchmesser bzw. Querschnitt der Teilchen sprechen; diese Schwierigkeit war bereits beim Modell der r^{-n}-Kräfte aufgetreten und wurde damals so gelöst, daß die Ablenkungen bestimmt wurden, die ein Teilchen beim Vorbeigang an einem anderen erlitt. Gewisse Integrale $J^*_{(n)}$ und $J(n)$ über die Ablenkungen vertraten dann im wesentlichen die Rolle des Querschnitts (s.S. 140 u. S. 142/143), und zwar war J^* maßgebend für den Querschnitt, der bei der Viskosität in die Endformel einging und J derjenige, der bei Wärmeleitfähigkeit und Diffusion Verwendung fand.

Man benützt nun, wenn man die Korrekturen, die durch die Quantenmechanik in die Theorie hineinkommen, berücksichtigen will, einfach die alten Gleichungen mit den darin vorkommenden Größen $J^*_{(n)}$ und $J(n)$ und berechnet diese Integrale über die Ablenkungen, indem man die Ablenkungen beim Stoß nach der Quantentheorie bestimmt. Man kann das Integral $J^*_{(\infty)}$ direkt umwandeln in den Ausdruck

$$J^*_{(\infty)} = \frac{\pi}{\sigma^2} \int_0^\pi I(\vartheta) \sin^3 \vartheta \, d\vartheta$$

wo $I(\vartheta)$ die (klassische) Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines Ablenkungswinkels ϑ von der unabgelenkten Flugbahn ist, womit man wegen $I(\vartheta) = \text{const} = \frac{\sigma^2}{4}$ (in der klassischen Theorie) direkt $J_{(\infty)} = \frac{\pi}{3}$ erhält. Man setzt nun zur Quantentheorie übergehend den Ausdruck $3\,(K/m)^{2/n-1}\, J^*(n)$, der im Limes für $n \to \infty$ in der Formel für die Viskosität auftritt, $= 3\,\sigma^2 J_{(\infty)} = \pi\, \sigma_{qu}^2 =$ dem für die Quantentheorie in der Formel für die Viskosität maßgebenden Querschnitt, wenn man $J^*(\infty)$ berechnet unter Verwendung der $I(\vartheta)$-Werte, die die Quantenmechanik liefert. So gelangt man schließlich zu

$$\pi\, \sigma_{qu}^2 = 3\,\pi \int_0^\pi I(\vartheta)_{quant} \sin^3 \vartheta \, d\vartheta \,.$$

Die Werte für $I(\vartheta)$ *quant* findet man z. B. bei Massey und Mohr (27), so daß die numerische Berechnung von $\pi\, \sigma_{qu}^2$ ermöglicht ist.

Für die Diffusion und Wärmeleitfähigkeit hat man den Querschnitt entsprechend aus $J(n)$ zu entnehmen, womit man schließlich erhält:

$$\pi\, \sigma_{qu}^2 = 4\,\pi \int_0^\pi I(\vartheta)_{quant} \cdot \sin^2 \frac{\vartheta}{2} \sin \vartheta \, d\vartheta \,.$$

Die Größe $I(\vartheta)$ hängt nach der Quantentheorie wesentlich ab von der de Broglie-Wellenlänge; erst bei genügend kurzen Wellenlängen erhält man das klassische Resultat. Es ergeben sich bei geringer Molekulargeschwindigkeit und kleinen Molekelmassen quantentheoretisch größere Werte der Querschnitte als klassisch; jedoch fällt dieser Unterschied nur bei tieferen Temperaturen und Molekeln wie H_2 sowie D_2 und *He* ins Gewicht, alle andern Gase kondensieren sich in dem Temperaturgebiet, in dem diese Effekte merklich werden, so daß bei diesen die Korrektur durch die Quantentheorie praktisch unbedeutend ist. Bei Wasserstoff und *He* sind die diesbezüglichen Effekte aber gefunden worden. Man kann diese temperaturabhängigen Querschnitte jedoch auch durch eine entsprechend gewählte *Sutherland-Korrektur* beschreiben, womit deutlich wird, daß eine reinliche Scheidung zwischen Quanteneffekt und dem Einfluß zwischenmolekularer Kräfte auch hier wie in anderen Disziplinen schwierig ist.

Es bleibt aber noch ein typischer Quanteneffekt übrig; so macht es in der Quantentheorie einen wesentlichen Unterschied, ob beim Stoß zwei Teilchen als ununterscheidbar anzusehen sind oder nicht, weil im ersten Falle die de Broglie-Wellen miteinander intergebende Querschnitt, so daß man (selbst bei gleichem klassischen ferieren können. Damit ändert sich aber $I(\vartheta)$ *quant.* und der maß-Radius, gleichen zwischenmolekularen Kräften und gleichen Massen) verschiedene Resultate erhält, je nachdem man die Teilchen generell als unterscheidbar anzusehen hat oder nicht. Dies ist z. B. beim $o\,H_2$ und $p\,H_2$ der Fall. Zwei $p\,H_2$ Molekeln kann man bei tiefer Temperatur nicht unterscheiden, da sie sich in gleichen Quantenzuständen befinden; zwischen $o\,H_2$-Molekeln ist eine solche Unterscheidung teilweise möglich da sich $o\,H_2$-Molekeln in verschiedenen Quantenzuständen selbst bei tiefsten Temperaturen befinden können; ebenso kann man generell zwischen $p\,H_2$ und $o\,H_2$ Teilchen unterscheiden. Mithin hat man prinzipiell bei tiefen Temperaturen mit anderen Querschnitten und dementsprechend anderen Werten der Transportgrößen bei $o\,H_2$ und $p\,H_2$ zu rechnen (28). Man erhält so verschiedene Viskositätswerte von $o\,H_2$ und $p\,H_2$ bei tiefen Temperaturen.

Diese verschiedene Größe der Querschnitte bringt natürlich auch für die Thermodiffusion von $o\,H_2$ und $p\,H_2$ einen Beitrag zu dem Trenneffekt, jedoch ist dieser Effekt offensichtlich wesentlich kleiner als der auf S. 169 erwähnte thermodynamisch-statistisch erklärte. Auf das Vorhandensein dieses Quanteneffektes für die Thermodiffusion bei tiefen Temperaturen machte kürzlich Waldmann (29)[29] aufmerksam.

Die oben erwähnten Korrekturen der Gastheorie durch die Quantentheorie beziehen sich jedoch nur auf die Größe der Stoßquerschnitte. Von Bedeutung wäre jedoch noch die Frage, wie sich die Quantelung der Rotations- und Schwingungsbewegung und deren Übertragung untereinander und auf die Translationsbewegung bezüglich der Transportphänomene bemerkbar macht. Zu diesem ganzen Problemkreis liegen nur sehr wenige Untersuchungen vor[30]; es sei darum hier auf ein näheres Eingehen darauf verzichtet.

Schluß.

Im großen gesehen zeigt sich, daß die Gastheorie eine recht komplizierte physikalische Disziplin darstellt, bei der die exakte Erfassung selbst einfacher Größen außerordentlich hohe Anforderungen an denjenigen stellt, der auf ihrem Gebiete arbeiten will. So ist es eigentlich noch nicht in befriedigender Weise geglückt, auf der Basis der strengen Theorie die Transportphänomene für mehratomige Molekeln zu erfassen; hier führen oftmals Gedankengänge zu einem wenigstens brauchbaren Ergebnis, die an die elementare, den Begriff der freien Weglänge verwendende Theorie, anknüpfen. Auf der anderen Seite bleibt abzuwarten, wie weit es einer thermodynamisch-statistischen Theorie gelingt, die typisch irreversiblen Probleme der Gastheorie zu fördern. Jedenfalls ist neuerdings die kinetische Gastheorie mit ihren typischen Fragestellungen — angeregt wahrscheinlich durch die praktische Bedeutung, die einige ihrer Probleme kürzlich erlangt haben — abermals modern geworden und findet wieder in steigendem Maße Bearbeiter, die sich eingehender mit ihr befassen.

Eingegangen am 6. Mai 1947.

[29]) Die dort (29) berechneten Trenneffekte sind jedoch gegenüber dem gefundenen viel zu klein, da — wie im Text gesagt — andere Gründe für die Trennung (Entropiedifferenz usw.) von ausschlaggebender Bedeutung sind.

[30]) Erwähnt sei eine Untersuchung von Kl. Schäfer, W. Rating u. A. Eucken (30), über den Einfluß des gehemmten Austausches zwischen Translations- und Schwingungsenergie auf das Wärmeleitvermögen der Gase bei kleinen Drucken, wo die Zahl der Stöße einer Molekel zwischen warmer und kalter Wand so gering ist, daß der genannte Energieaustausch nicht oder nur noch in mäßigem Umfange stattfindet.

Das Gebiet des unterpliozänen Ur-Rheins in Rheinhessen und seine Tierwelt.

Von W. Wagner, Darmstadt.

Als man 1936 die erste Tiefbohrung nach Erdöl an der Wormser Rheinbrücke begann, war ich nicht nur darauf gespannt, ob meine Voraussage richtig wäre, daß hier in großen Tiefen Erdöl auftritt, sondern auch auf viele andere geologische Ergebnisse (11a). Unter diesen stand mit an erster Stelle die Mächtigkeit der diluvialen Rheinablagerungen und die Frage nach dem Vorkommen von Bildungen, die dem unterpliozänen Ur-Rhein angehören. Dieser nahm nicht, wie der diluviale Rhein, seinen Ursprung in den Alpen. Eine Wasserscheide etwa in der Höhe des Kaiserstuhls ließ ihn im Pliozän in dieser Gegend entspringen. Er floß durch das Unterelsaß und die Pfalz, und sein westlicher Hauptarm läßt sich in Hessen von Westhofen bei Worms aus in nordwestlicher Richtung über Eppelsheim, Bermersheim bei Alzey, den Wißberg bei Gau-Weinheim das Ockenheimer Horn verfolgen und mündete bei dem diesem Orte nahegelegenen Bingen in das heutige Rheintal. In diesem wurden seine Ablagerungen noch weit nach Norden hin festgestellt. Von Kreuznach her floß ihm eine Ur-Nahe zu, und im Nordwesten des rheinhessischen Plateaus sehen wir die Kiese des Ur-Rheins sich in großer Menge mit solchen des Ur-Mains vermischen. Die Ur-Rheinablagerungen sind besonders gut auf dem rheinhessischen Plateau erhalten geblieben. Sie liegen hier rund 250 m NN, und nur in dieser Gegend sind sie reich an Fossilresten. Die Tiefbohrung von Worms, die mit ihren 2280 m die tiefste Süddeutschlands wurde, erbrachte nicht nur das erwünschte Erdöl, sondern auch die unterpliozänen Rheinkiese in der ungeahnten Tiefe von 630 m, das Ende der diluvialen Rheinablagerungen in 190 m, d. h. rund 100 m unter dem heutigen Meeresspiegel. Beide Ergebnisse bewiesen die starke Absenkung des Rheintalgrabens und die beträchtliche Hebung des rheinhessischen Plateaus bis zur heutigen Zeit. Die Sprunghöhe beträgt seit dem Unterpliozän 780 m, seit dem Beginn des Diluviums rund 300 m. Dieser entspricht aber, bei einer auf astronomischer Grundlage errechneten Zeitdauer des Diluviums von 800000 bis 900000 Jahren, und einer mit Hilfe der Radium-Helium-Blei-Methode ermittelten Zeitspanne seit dem unteren Pliozän von etwa 2,5 Millionen, nur eine durchschnittliche jährliche Bewegungsgeschwindigkeit von rund 0,35 mm. Wir wissen aber, daß Phasen stärkerer Erdbewegungen mit solchen der Ruhe abwechseln, so daß die Hauptbeträge wohl im Mittelpliozän (attische Phase) und den diluvialen Phasen zustandekamen. Daß aber heute noch der Bewegungsprozeß nicht ruht, beweisen uns die Erdbeben im Rheintalgraben (Groß-Gerau).

Wie sah das Land zwischen Worms, Alzey, Kreuznach, Bingen und Mainz zu Beginn des Unterpliozäns aus? Die genaue Durchforschung des Wißberges bei Gau-Weinheim (11b) erlaubt uns in erster Linie ein Bild zu entwerfen, das durch die Ausgrabungen bei Eppelsheim, am Steinberg bei Sprendlingen und W. Weiler's Ausbeutung der Fundstelle westlich von Westhofen wesentlich ergänzt wird. Offenbar war der durch die oberoligozäne Tektonik bedingte morphologische Effekt ziemlich ausgeglichen. Es liegt die weit verbreitete „praepontische Rumpffläche" vor, die in unserem Gebiet meist eine Abtragung bis auf die untermiozänen Corbicula- und Hydrobienschichten zeitigte, in einigen Fällen, wie südlich von Stadeeken und Laubenheim, auch noch mitteloligozäne Schleichsande freilegte. Im sich senkenden Rheintalgraben dagegen ließ sie noch Obermiozän zur Erhaltung kommen (11a).

Über dieser Rumpffläche des rheinhessischen Plateaus entwickelte sich mit dem Wiederaufleben tektonischer Bewegungen im Unterpliozän ein weit ausgedehntes Flußsystem ähnlich unserem heutigen Rhein vor seiner Regulierung. Wir werden uns ein weites, von wenig hohen Inseln durchsetztes Tal vorzustellen haben, durch welches der Ur-Rhein, in vielen Armen zerteilt, mit nicht zu starkem Gefälle hindurchströmte, wie der heutige Oberrhein bald hier bald dort eine Sandbank bildend.

Sumpfwälder begleiteten die Ufer des Flusses, an die sich ein dichter Wald anschloß. Aber während sich der Fluß durch diese Wälder immer wieder neue Wege bahnte, blieben größere Inseln, wie eine solche von rund 300 m Breite am Wißberg einwandfrei nachgewiesen werden konnte, längere Zeit trocken. Hier entwickelten sich größere Buschwaldbezirke ähnlich denen, die weiter westlich vom Fluß hin und wieder in eine baumarme Grassteppe übergingen. Pflanzenreste, die uns Aufschluß über das Klima geben könnten, sind nur wenige in den Kiesgruben südlich von Gau-Algesheim und bei Westhofen gefunden worden. Es sind verkieselte Stammreste von Laubhölzern. Die nahegelegene reiche Unterpliozänflora des Frankfurter Klärbeckens mit ihrem starken ostasiatischen Einschlag hat ergeben, daß in unserer Gegend damals noch ein Klima herrschte, das ausgesprochene Wärmeformen, wie sie Südeuropa aufweist, gedeihen ließ.

Dinotheriensande hat man die unterpliozänen Flußsande genannt; 1835 hatte J. Kaup (8a) bei Eppelsheim, einem Dorf südlich von Alzey, auf dem Grundstück des Prof. von Klipstein, den riesigen Schädel und zahlreiche Zähne und Knochen eines Dickhäuters ausgegraben, der mit 5 m Schulterhöhe wohl als das größte Landsäugetier bezeichnet werden kann. Es erhielt den Namen *Dinotherium giganteum*. Richtiger wären diese Kiessandablagerungen Hipparionschichten zu nennen, da das dem Pferdestamm zugehörige *Hipparion gracile* Kaup nicht nur im Unterpliozän des Ur-Rheingebietes, sondern auch an den anderen reichen Fundstellen unterpliozäner Wirbeltiere, wie in Pikermi in Attika und auf Samos, weitaus das häufigste Faunenelement ist.

Endlich hat man auch versucht, den Namen der Schichten auf Grund einer bestimmten Gesteinsart zu geben, die sich besonders auffallend in der Zusammensetzung der Schotter bemerkbar macht. Es sind Kieseloolithe, die mit den Hornsteinen des Muschelkalks vorkommen, und zur Bezeichnung *Kieseloolithscholler* geführt haben. Doch konnte sich dieser Name nicht durchsetzen, da auch schon oligozäne Schichten die gleichen Kieseloolithe aufweisen. Die Schotter selbst bestehen fast ausschließlich aus harten Quarzgesteinen, die auf eine Herkunft aus einem Triasgebiet, insbesondere dem Quarzgerölle führenden Hauptkonglomerat des Buntsandsteins, hinweisen. Die weniger harten Kalke des Muschelkalks wurden bald völlig zerrieben, so daß aus ihm nur die Hornsteine und Kieseloolithe übrigblieben. Das Schottermaterial spricht also für eine Herkunft des Flusses aus dem Nordschwarzwald, den Vogesen und der Haardt.

Die älteste und bekannteste Fundstelle ist die vom sogenannten „*Jürgenbauer*" *westlich von Eppelsheim*, südlich von Alzey. Schon Goethes Freund, der Kriegsrat J. Merck in Darmstadt, erwähnt die aufsehenerregenden Funde in einem Briefwechsel 1782 bis 1786. In den ersten Zeiten zerstörten die Sandgräber mit Absicht alle Zahn- und Knochenreste, weil der Sand, ihre Erwerbsquelle, mit dem Vorkommen der Knochen zumeist aufhörte. Sie lagen in der Hauptsache in den untersten Kiessandlagen. Erst von 1817 an, als man den Arbeitern die Tierreste gut bezahlte, kam die wertvolle Ausbeute zustande. Wie reich die Fundstelle am Jürgenbauer von Eppelsheim gewesen war, geht aus Bemerkungen von J. Kaup (8b V 1861 S. 28) hervor, der bei der Beschreibung des *Hipparion gracile* erwähnt, daß er seine Abbildung des Oberkieferzahnes *P* 3 rechts auf Grund einer Auswahl aus vielen hundert Oberkieferzähnen vorgenommen habe. Wir können also wohl annehmen, daß diese auf mindestens 40 Individuen hinweisen; an anderer Stelle (8b 1861 I 53) sagt er von *Dicerorhinus (Rhinoceros) Schleiermacheri*, daß er mehr als 24 Unterkiefer dieses Tieres an die Museen in London, Berlin, Bonn, Breslau und Stuttgart abgegeben habe, und außerdem sind noch 2 Schädel und 3 weitere Unterkiefer von Eppelsheim beschrieben worden.

1859 hielt J. Kaup die berühmte Fundstelle für erschöpft. Prof. Schmidtgen in Mainz ließ an dieser Stelle, wo auch der einzigartige Schädel von Dinotherium gefunden wurde, in den dreißiger Jahren einen neuen Schurf anlegen, und auch in diesem fanden wir in einem etwa 60 cm tiefen, von groben Kiessanden erfüllten Kolk in Corbiculamergeln noch mehrere Zähne und Knochen von Mastodonten, Dinotherium, Sus paläochoerus und Hipparion gracile.

Wenn Kaup 1859 sagt (8b), daß nicht nur die Eppelsheimer Kiessande fossilreich seien, sondern daß „*unser ganzes Rheinhessen nur eine einzige Fundgrube sei*", so hat er, soweit man dies heute übersehen kann, rechtbehalten. W. Weiler hat westlich von *Westhofen* in der Schwanschen Grube einen reichen Fundplatz aufgetan, *Esselborner* Gruben, solche bei *Kettenheim-Wahlheim*, bei *Heimersheim* und „*am Kahlig*" *von Bermersheim* bei *Alzey* liefern ebenfalls schöne Funde. Vor allem aber zeigen die Gruben am südlichen *Wißberg bei Gau-Bickelheim* eine ungewöhnliche Fülle von Tierresten, die ich in einer besonderen Arbeit (1947—11b) dargestellt habe. Hier beträgt die Zahl der bis jetzt aufgesammelten Tierreste, die sich auf mindestens 358 Individuen verteilen, sicher an 5000, und diese fanden sich auf einer Fläche von rund 1200 qm. Sie reichern sich an bestimmten Plätzen so an, daß an einer 1 qm großen Stelle 11 Zahnfunde von Dinotherium und Mastodon gemacht wurden. Den gleichen Reichtum entblößte eine nur 25 qm große, 0,40 m tief in den darunterliegenden Corbiculakalk eingesenkte Rinne der Gemeindegrube von *Sprendlingen (Auf dem Steinberg)*, in der sich in den Kiessanden über 400 Tierreste von 34 Individuen, d. h. 16 Reste pro qm fanden. Alle die genannten Fundplätze verteilen sich auf eine 30 km lange Flußstrecke. Außer in dieser wurden auch in den gleichen Flußkiesen, die am Rheintalrand bei Oppenheim, Laubenheim und Weisenau abgelagert wurden, einige Tierreste festgestellt.

Bei der nachfolgenden Beschreibung der einzelnen Tierfunde geben die in Klammern beigefügten Zahlen die mir bekannt gewordenen Individuen an, wobei Whf. Westhofen, E. Eppelsheim, Ess. Esselborn, K. Kettenheim-Wahlheim, Be Bermersheim, W. Wißberg und St. Steinberg bei Sprendlingen bedeuten. Die wirkliche Zahl der im Flußkies des Ur-Rheins begrabenen Tiere ist sicher eine sehr vielfache. Ja selbst die an den genannten Fundplätzen gesammelten Reste sind wesentlich mehr, wie schon aus den erwähnten Bemerkungen Kaups hervorgeht und aus der Tatsache, daß außer den Museen vieler Städte des In- und Auslandes mehrere größere Privatsammlungen bestehen, wie z. B. die des Oberbaurats Rothamel in Mainz, die zahlreiche unterpliozäne Wirbeltierreste Rheinhessens enthalten.

Lassen wir nunmehr die Wirbeltiere an uns vorüberziehen, deren Reste uns die Ablagerungen des Ur-Rheins bisher geliefert haben.

1. *Carnivoren* (Raubtiere): *Amphicyon eppelheimensis* Weitzel (E2; W2), das von Weitzel eingehend beschrieben wurde, eine ausgestorbene Hundeart, die mit den Bären nicht nur ihre Größe teilte, sondern auch in verwandtschaftliche Beziehungen zu diesen gebracht werden kann (13). Und in die gleiche Unterfamilie ist *Dinocyon* (E1; W1) zu stellen. Reste von *Vulpes n. sp. aff. donnezani* Depéret (W1) von *Ursavus cf. primaevus* Gaillard (W1) und *Ursavus sp.* (W1) verraten uns den Fuchs und eine kleine Bärenart. Der Löwe tritt in der Form von *Felis anlediluviana* Hpt (W1; E2), *Felis Ogygia* Kaup (W1; E1) und *Felis prisca* Kaup (E1) auf. Auch der sogenannte „säbelzähnige Tiger", eine löwengroße Felidenart, *Machairodus cultrigens* mit seinen scharfgeschliffenen großen Hauern am Oberkiefer fand sich bei Westhofen und Eppelsheim (Whf. 2; E1). Ferner konnten Marder (W1), Vielfraß (W1; E1), Fischotter (W1; E1) und Dachs (W1) ermittelt werden, und endlich tritt auch ein Steppen bewohnender Aasfresser auf, das *Ictitherium robustum* (W1; E1), das als ein Vorfahre der Hyänen erkannt wurde (7b). Unter den *Nagern* (Rodentia) spielt der große Sumpfbiber, *Steneofiber jägeri* Kaup die Hauptrolle (E3; W9; St3). Weitere Biberarten und kleinere Nager, wie das zu den Stachelschweinen zählende *Hylrix casloroides* Kaup 1832 (E1) konnten ebenfalls festgestellt werden.

Am häufigsten sind *die Ungulalen*, die Huftiere. Unter den Unpaarhufern tritt in großer Zahl der Tapir auf. *Tapirus priscus* Kaup (Whf. 1; E6; W12; St3), seltener *Tapirus antiquus* Kaup (E2). Ferner bilden die Nashörner ein wichtiges Faunenelement des Ur-Rheingebietes. Neben dem Hipparion ist das hornlose Nashorn *Aceratherium incisivum* Kaup das am häufigsten auftretende Tier (Whf. mehrere; E10; Oppenheim 1; W52; St8; Weisenau 1); ferner *Aceratherium minutum* Kaup (W1; E2) und das plumpe *Brachypotherium goldfussi* Kaup (E3; W4). Endlich fehlen auch nicht echte Nashörner, wie z. B. *Dicerorhinus schleiermacheri* Kaup (W3; E29; St1) und *Rhinoceros sp.* (W3). Besonders abenteuerlich mutet das etwas über 1 m hohe *Chalicotherium goldfussi* Kaup (E2; Es1; Whf1; St1) mit seinem pferdeähnlichen Kopf an, ein auf diese Zeit beschränktes, die Steppe bevorzugendes Huftier, das an jeder Zehe des dreizehigen Fußes eine große zurücklegbare Scharrkralle trug (9 und 14). Auch das ihm verwandte, den Wald liebende größere *Macrotherium magnum* Cuv. konnte in einem Krallenglied bei Eppelsheim festgestellt werden (E1).

Das Hauptelement der damaligen rheinischen Tierwelt tritt uns in den dreizehigen Vorfahren unseres Pferdes, dem *Hipparion gracile* Kaup entgegen, das auch den anderen reichen Fundplätzen unterpliozäner Faunen Europas, wie bei Pikermi in Attika und Samos (1.S) das bezeichnende Gepräge verleiht (E60; Whf mehrere; W70; St5).

An diesen Equiden schließt sich *Anchitherium cf. aurelianense* cuv. (W3) an, das eigentlich eine ältere waldliebende Form Europas ist. Im Wiener Becken

hielt sich dieses unserem heutigen Pferd an Größe etwa gleiche dreizehige Tier im Mittel- und Obermiozän in großen Herden auf. Da es aber in Rheinhessen mit dem für das Unterpliozän typischen Hipparion gracile zusammenlebte, muß es nach v. Königswald (7a) als eine besonders große Form betrachtet werden, die, wie in China, erst im Unterpliozän zum Erlöschen kam.

Unter den Paarhufern sind die *Suiden* (Schweine) ein Faunenelement, das wesentlich zur Bereicherung des Lebensbildes beiträgt. Unter ihnen tritt am meisten eine kleinere Schweineart auf, die mit *Sus palaeochoerus* Kaup bezeichnet wurde (Whf1; E1; W21; St3) und welche die Größe eines mittelstarken heutigen Wildschweines erreichte. Aber neben noch anderen Schweinearten, wie *Sus antiquus* Kaup (E3; W2) und *Sus sp* (E2; W4) lebte auch das große Sumpfwaldschwein *Listriodon* (W1) und das kleinere *Hyotherium simorrense* (W1).

Was die Geweihträger anbelangt, so waren diese mit großem Formenreichtum vertreten (4b). Sie gehören zumeist zu den Cervulinen, die mit ihrem zweisprossigen Geweih mit langem Rosenstock unseren ostasiatischen, im Walde lebenden Muntjakhirschen wahrscheinlich sehr ähnlich sahen. *Dicroceros elegans Lartet* (W8), *Euprox*, *Amphiprox* und *Heteroprox* (die drei Formen zusammen E6; W ~ 50; Whf einige; St3). Auch echte *Cerviden*, wie *Cervus cf. bertholdi* Kaup (E3; W2), *Cervus partschi* Kaup (E1), *Cervus capriolus nanus* Kaup 1839 (E1) und noch andere nicht näher bestimmbare Cerviden (W3) wurden nachgewiesen. Nicht unerwähnt darf *Dorcatherium naui* Kaup 1834 bleiben (E4; W1). Es ist eigentlich ein wichtiges Faunenelement des Miozäns, das sich bei uns noch bis in das Unterpliozän hinein erhalten hat. Das kleine im Uferwald lebende Tier läßt sich gut mit dem heute lebenden afrikanischen Zwergmoschustier vergleichen, wie aus dem vollständigen Schädel hervorgeht, der in Eppelsheim gefunden wurde.

Endlich deuten Funde von zahlreichen Zähnen wie von Hornstühlen auf die Anwesenheit von *Antilopen* und *Giraffen* (nach v. Königswald) hin.

Ein ganz besonders charakteristisches Faunenelement des rheinhessischen Unterpliozäns sind die großen *Proboscidier*, die Rüsseltiere: *Dinotherium giganteum* und verschiedene *Mastodonten*. Von Dinotherium giganteum (Kaup) sind weit über 1000 Zähne, zum Teil noch im Kieferverband, aus den Kiessanden, besonders den untersten Lagen, gesammelt worden (E17; Ess1; H1; B2; Whf einige; W50; St3; Laubenheim1). Mehrfach finden sich die im Unterkiefer — als nach unten gerichtete dicke Hauer — ausgebildeten Stoßzähne, von denen einer, am Wißberg gefunden, 41 cm Umfang und 15 cm größten Durchmesser hatte. Die Länge war wohl nicht sehr groß, sie betrug bei einem ziemlich vollkommenen Exemplar 39 cm. Aus der Eppelsheimer Grube (Jürgenbauer) wurde ein vollständiger Schädel dieses „Schreckentieres" 1835 geborgen, der damals das Erstaunen in ganz Europa hervorrief und 1837 in Paris ausgestellt wurde (5a). Da neben diesem wohlerhaltenen Schädel noch weiter ganze Kiefer und zahlreiche Backenzähne, Hauer und viele Knochen (Schulterblatt, Femur, Humerus, Tibia, Ulna, Beckenknochen, Fußknochen und Wirbel) sich fanden, so muß hier nicht nur ein vollkommener Kadaver noch in seinem Zusammenhang zur Einbettung gekommen sein, sondern mehrere Tiere dieser Art hier auf engbeschränktem Raum ihren Begräbnisplatz gefunden haben.

Unter den Elefantiden tritt die Gattung Mastodon Cuv, 1806 in 3 Arten in großer Zahl auf. Klähn's Versuch (6a, 6b), noch weitere Gattungen herauszuschälen, dürfte nicht gerechtfertigt sein.

Herrschend ist die Gattung *Mastodon longirostris*-Bunolophodon longirostris Kaup 1832 syn. Mastodon arvernensis Croix et Joh. H. v. Meyer 1831. Tetrabelodon longirostris Kaup, Falconer 1857. Sehr viele Mastodontenzähne, die in Mainz lagen, und noch heute in den Sammlungen von Darmstadt, vielen anderen deutschen und ausländischen Museen und Privatsammlungen sich befinden, sind noch nicht genauer bestimmt worden, allein vom Wißberg befanden sich in Mainz ungefähr 230 Zähne, darunter 31 Stoßzähne; von Eppelsheim über 50 (E25; Whf2; Be2; Ess3; W7; St4; Wahlheim1) *Mastodon longirostris* hatte nicht nur wie die heutigen Elefanten zwei Stoßzähne im Oberkiefer, sondern auch noch zwei kürzere in einem, gegenüber den lebenden Elefanten, stark verlängerten Unterkiefer. Die 16 cm lange Spitze eines solchen Zahnes hatte dabei einen Durchmesser von 10 cm. Der besterhaltene Schädel von Esselborn befindet sich im Hessischen Landesmuseum in Darmstadt. Wie bei der zweiten Art *Mastodon angustidens Cuv. 1806* — *Bunolophodon angustidens Cuv. var. Subtapiroida Schlesinger* 1921 (E1; Ess2; B1; W5; Whf; K1; St1) diente der bei dieser Form noch länger gezogene Unterkiefer und die in diesem noch größer entwickelten Stoßzähne zum Durchwühlen des Bodens nach Nahrung. In der Art angustidens sind wohl auch die von Klähn als Mastodon austro-germanicus Web. bezeichneten Zähne zu rechnen. Am seltensten findet sich die dritte Art *Mastodon turicensis* Schinz 1833 (Ess1; Be1; W1; E1; St1).

Am meisten von allen Säugetierfunden des Ur-Rheingebietes sind die *Affenreste* zu beachten. Das Pliozän ist als die Zeit anzusehen, in welcher der zu dem Menschen führende Stamm der Altweltaffen von dem zu den heutigen Menschenaffen — Weinert's Summo-primaten Gorilla und Schimpanse — führenden noch nicht getrennt war, aber vor einer baldigen Trennung stand. Funde dieser Zeit dürften typische menschliche wie Menschenaffen-Merkmale vereint aufweisen. Diesem Faunenelement ist also ein besonderes Augenmerk zuzuwenden. Der bei Eppelsheim gefundene Zahn (C sup. dext.) ist dem Schlankaffen *Semnopithecus eppelheimensis no. sp.* Kaup 1861 zuzurechnen, der in Indien heute durch den häufigen und gelehrigen „Hulman" vertreten ist. Er gehört also nicht zu dem viel besprochenen rechten Oberschenkelknochen, der unter der Bezeichnung *Paidopithex rhenanus Pohlig* zu den Menschenaffen gerechnet werden muß. (9). K. Weitzel glaubt ihn auf Grund der Röntgenaufnahme sicher zu den Gibbonarten (Hylobatiden) stellen zu dürfen, zu denen ihn auch *Walkoff* und *Gieseler* (3. 1926) rechnen. Interessant ist, daß Schleiermacher ihn im Fundjahr 1820 für den Oberschenkelknochen eines 12jähgen Mädchens hielt. Schmidtgens Grabungen am Wißberg brachten nach dessen mir mündlich gemachten Mitteilungen weitere 2 Praemolare des Oberkiefers und 2 Eckzähne zutage, die er als *schimpansoid* bezeichnet und sie Herrn Wolfgang Abel in Berlin zur weiteren Bestimmung übergab. *In diesen unterpliozänen Schichten Rheinhessens dürfen wir vielleicht bei weiterer gründlicher Durchforschung damit rechnen, die Glieder der Menschenaffen zu finden, die wir in Verbindung mit den Vormenschen (Anthropi): Pithecanthropus erectus, Dub. Sinanthropus pekinensis Blank und Homo Heidelbergensis Schoetensack bringen können*, annähernd über Formen, wie sie 1924 von Dart und 1936/38 von Broom in der Gattung Australopithecus in Südafrika entdeckt wurden.

Wie zu erwarten, treten in dem Ur-Rheingebiet auch *Reptilien* und *Vögel* auf. Schildkrötenreste fanden sich sowohl bei Eppelsheim wie am Wißberg in der zu den Sumpfschildkröten gehörenden Form *Trionyx oweni* Kaup 1834 (E1; W1) (10). Vermutlich zu *Diplocynodon* sind die am Wißberg gefundenen *Crocodolidenzähne* zu rechnen. Die wenigen bekanntgewordenen *Vogelreste* stammen von Eppelsheim. Es sind dies die Ente *Anas eppelheimensis* Lambrecht 1933, von der Coracoid, Humerus dext. distales Ende und Basalphalanx I carpi gefunden wurde; und zu den Gruiden (Kranichen) gehören die von Lamprecht (8) beschriebenen Reste von *Pliogrus germanicus* Lamprecht 1933: Tibiotarsus sin. dist. Gelenk, Fragment der Scapula sin. dist. Ende.

Die angeführten *53 verschiedenen Faunenelemente* umfassen natürlich keineswegs die ganze im Ur-Rheingebiet vorhandene Tierwelt. Die genaue fachmännische Bearbeitung von mehreren hundert als unbestimmt bezeichneten Resten, besonders von Carnivoren, Nagern und wahrscheinlich zu den Antilopen und Giraffen zu stellenden Paarhufern vom Wißberg, die sich im Mainzer Naturhistorischen Museum befanden und dort mit einem großen, unersetzlichen Fossilmaterial ein Opfer der Fliegerangriffe vom 27. Februar 1945 wurden, stand noch aus. Andere gerettete Reste sind noch in Bearbeitung, so insbesondere zahlreiche Funde W. Weiler's in Westhofen, und endlich ist sehr zu beachten, daß man bei den Grabungen im vorigen Jahrhundert in Eppelsheim, Esselborn, Laubenheim und Weisenau die Kleinformen übersehen hat. Die 53 Arten wurden auf Grund von rund 630 Individuen ermittelt, die aber natürlich nur einen Bruchteil der damals wirklich lebenden Tiermenge ausmachen.

Die Tausende gefundenen Tierreste würden uns nicht erlauben, die Fundstellen als reich zu bezeichnen, erst die große Individuenzahl, auf kleinem Raum beschränkt, berechtigt uns zu dieser Behauptung. Allein eine Hipparionherde von nur 100 Tieren hinterläßt 4400 Zähne, und über 20000 Skelettreste. Die *Zahl der Individuen* kann aber nur aus der Zahl der Funde des *gleichen* Zahnes oder Knochens ermittelt werden.

Wenn wir uns auch bereits $2^1/_2$ Millionen Jahre von der Jetztzeit entfernt sehen, so ist dieser gewaltige Zeitraum doch nicht groß genug, um die Tierwelt von damals mit der heutigen nicht vergleichen zu können, so daß wir ein *Lebensbild von der Wirbeltierwelt des Ur-Rheingebietes in Rheinhessen* mit einiger Genauigkeit entwerfen können.

So verschiedenartig die Lebensbedingungen waren, unter denen die festgestellte Tierwelt ihr Dasein fristete, so müssen sie doch an einer Stelle miteinander in Berührung gekommen sein, und dieses Zusammentreffen kann nur am Flußufer stattgefunden haben. Zu ihm mußten die Tiere des Waldes wie die des Buschwaldes und der Buschwaldsteppe täglich ziehen, um ihren Durst zu stillen. Hier müssen nicht nur die Fluß- und Uferbewohner, sondern auch die weit vom Strom lebenden Tiere der Buschwaldsteppe ihren Tod gefunden haben, denn die Massengräber, die sie alle vereinen, liegen ja *in* den Flußablagerungen. *Der eigentliche Lebensraum unserer gesamten Fauna ist also teils am, teils mehr oder weniger weit von ihrem gemeinsamen Todesort entfernt gewesen.*

Knüpfen wir an diese Tatsache die biostratonomische Frage an: *Wie liegen Todesort und Grabgemeinschaft zueinander?* Die Antwort kann nur erteilt werden, wenn wir Anhaltspunkte über die Art der Einbettung haben, wenn wir den Erhaltungszustand der einzelnen Reste feststellen und wenn wir ermitteln, welche Hartteile des Körpers am häufigsten in einem Massengrab angetroffen werden. In den feinen Sandlagen finden wir nur selten einen Tierrest, und wenn es der Fall ist, meist in einem mechanisch verletzten Zustand, der auf eine Umlagerung in späterer Zeit hinweist. Die fossilreichen Lagen bestehen aus gröberem Kiesmaterial. Die Massengräber werden fast ausnahmslos in den groben Schottern an der Basis der Ablagerung gefunden. Und untersucht man die Form eines solchen Massengrabes, so handelt es sich um kleinere oder größere in die ältere Kalksteinunterlage eingesenkte Kolke oder Rinnen von einer Tiefe, die am Wißberg sicher über 1 m betrug. Ihre Entstehung ist für die Klärung der Grabgemeinschaft von Bedeutung. Nicht regulierte Flüsse strömen meist in mehrere Arme zerteilt. An der Stelle der Wiedervereinigung ungleich starker Flußarme entstehen besonders bei Hochwasser Stromwirbel. Die kreisende Bewegung des mit Gestein beladenen Wassers bohrt in den zerklüfteten Kalkuntergrund Vertiefungen ein, die, einmal geschaffen, immer wieder von den Fluten aufgesucht und erweitert werden. Solche Kolke sind wahre Fanggruben für die auf dem Wasser treibenden Tierleichen. Der von den Verwesungsgasen aufgeblähte Tierkörper kreist solange in dem Wirbel, bis die Gase ihr Werk getan und die Haut zum Platzen gebracht haben, dann erst sinken die Skelettteile zu Boden und vermischen sich mit den Schottern, wobei z. B. die riesigen Backenzähne des Dinotheriums und der Mastodonten meist mit den Wurzeln nach oben und den schweren Zahnkronen nach unten eingebettet wurden. Der berühmte Dinotheriumschädel von Eppelsheim lag mit der Kalotte nach unten. Da die Strudellöcher von Eppelsheim Schädel in Verbindung mit dem zugehörigen Unterkiefer z. B. von Dorcatherium naui und Dicerorhinus schleiermacheri, sowie zahlreiche Unterkiefer mit den Zähnen von Carnivoren, Nagern, Tapir, Nashörnern, Hipparion, Cervinen, Dinotherium und Mastodonten aufwiesen, so kann *diese Grabgemeinschaft nicht weit vom Todesort gewesen sein.* Der von den Verwesungsgasen trommelförmig aufgetriebene Leib des Kadavers dient ihm als Schwimmer. Doch nicht lange bleibt die Leiche in vollem Verband; zuerst löst sich der Unterkiefer, dann der übrige Schädel, es folgen die Gliedmaßen, während der Rumpf bis zur Zerreißung der Bauchhaut noch eine weite Wegstrecke driften kann. Die erwähnten zahlreichen Unterkieferreste der verschiedenartigsten Tiere, welche die Eppelsheimer Fundstellen ergaben, spricht also eindeutig für die nahegelegene Vernichtungsstelle der Tierwelt. Da auch das Wißberggrab Unterkiefer, wenn auch nicht in solcher Fülle wie Eppelsheim zutage förderte, so ist auf der 25 km langen Flußstrecke von Eppelsheim bis zum Wißberg, nicht allzu weit von diesem entfernt, ebenfalls ein Ort der Vernichtung anzunehmen. Die mit Tierresten gefüllten kolkartigen Fundstellen von dem Eppelsheim nahegelegenen Esselborn enthalten wohl die an Eppelsheimer Fanggruben vorbeigetriebenen Leichen des Eppelheimer Todesortes. Aber auch die Funde in der Schwanschen Grube bei Westhofen deuten nach einer Mitteilung von W. Weiler auf einen nicht allzufern liegenden Vernichtungsort, der möglicherweise mit dem von Eppelsheim gleichzusetzen ist.

Versuchen wir nun *das Lebensbild* aufzuzeichnen, wie es sich zeigte, ehe die Zeit der Vernichtung hereinbrach. Fast überall, wo wir Anhäufungen von verschiedenen Wirbeltierresten in einer Schicht auf einem kleinen Raum antreffen, können wir auf eine Katastrophe schließen, die zu einer Vertilgung eines großen Teiles der Tierwelt führte. So wie ich ihr Leben am Wißberg zu beschreiben versuchte (1947 11b), so

ähnlich wird es sich im ganzen Flußgebiet Rheinhessens abgespielt haben. Der Ur-Rhein durchströmte die weite Niederung zwischen dem heutigen Rheintal im Osten und dem Wißbachtal im Westen in mehrere sich oft verlagernde Arme zerteilt. Der westliche Hauptarm war unser *Eppelsheimer Fluß*, wie ihn Weiler schon 1932 bezeichnete, in den sich nördlich von Sprendlingen die aus der Gegend von Kreuznach kommende *Ur-Nahe* ergoß. Zwischen ihr und dem *Eppelsheimer Fluß* lag ein etwa 12 km breites Gebiet, es stieg wohl langsam nach Westen zu dem felsigen Porphyrgebiet von Münster am Stein an, auf dessen eingeebneter Hochfläche die Ur-Nahe sich ihren Weg bahnte.

In diesem Raum und insbesondere an dem Eppelsheimer Rheinarm spielte sich das Leben der Tierwelt ab, deren Begräbnisplätze — im Fluß gelegen — wir oben besprochen haben.

An dem von Sumpfwald begleiteten Ufer bauen die Biber, voran der große Sumpfbiber, eifrig ihre Burgen. Gut im Ufergestrüpp getarnt nistet die Ente. Da bewegt sich das Wasser, ein Fischotter verfolgt eifrig seine Beute in den offenen Fluß hinaus. Erschreckt eilt die Schildkröte Trionyx von ihrem sonnigen Uferplatz in das schützende schmutzige Sumpfwasser. Wie sie pflegen auch die Krokodile an dem heißen Tag der Ruhe. Sie sonnen sich auf der nahegelegenen Sandbank. Der Abend naht, eine Schar Kraniche streicht über das Wasser, um sich nach ihrem Schlafplatz zu begeben. An einigen etwas lichteren Uferstellen belebt sich jetzt der Wald, die Tiere gehen zur Tränke. Neugierig äugt aus dem Uferdickicht das zu den Moschustieren gehörige Dorcatherium. Rudel des dreizehigen Waldpferdes, des Anchitheriums, durchziehen den Wald, gefolgt von Rudeln echter Hirsche und der den Mundjakhirschen ähnlichen Cervulinen. Sie durchqueren, um zum frischen Wasser zu kommen, den Sumpfwald, den sie sonst meiden. In ihm suhlen die Tapire, die zahlreichen verschiedenen Wildschweinarten, das große Listriodon und das Brachypotherium. Inzwischen haben schon der große Räuber Amphicyon und die Feliden, unter ihnen der gefährliche Säbeltiger Machairodus, und die kleineren Raubtiere, Fuchs und Marder, ihre Überfallstellungen im Walde in der Nähe der Wechsel bezogen. Bald fallen die Feliden über ein Rudel von Antilopen her. Sie kommen aus der dem Wald und dem Buschwald benachbarten Buschsteppe her, die sie mit der Giraffe und besonders Herden von Hipparion gracile bevölkern, die ebenfalls allabendlich dem erfrischenden Fluß zuwandern. Auf die von den Raubtieren zurückgelassenen Antilopenreste stürzt sich der feige Aasjäger, der Vorfahr der Hyänen, das Ictitherium robustum, und nach kurzer Zeit verraten nur noch die abgenagten Knochen das Drama im Walde. Aus dem Dickicht führt ein breitgetretener Pfad zum Strom. Er ist das Werk der *Rüssel tragenden Dickhäuter*. Das riesenhafte Dinotherium giganteum und die mit vier Stoßzähnen bewehrten Mastodonten trampeln mit ihren mächtigen elastischen Sohlenpolstern alles nieder. Am Fluß angekommen, waten sie in ihn hinein, nehmen ihr Bad und erquicken sich an seinem Wasser. Auch die *Nashörner* mit und ohne Hörner und das seltsame *Chalicotherium goldfussi* sieht man am Ufer erscheinen. Der heiße Tag hat sie aus ihrem Buschwald und der Buschsteppe vertrieben, in der das Chalicotherium das interessanteste und ein ziemlich häufiges Faunenelement bildet. Mit seinen 10 cm großen Scharrkrallen an den dreizehigen Händen und Füßen wühlte dieses pferdegroße Tier den Boden auf, um, wie O. Abel nachwies, eine reiche Pflanzenkost in Gestalt von Zwiebeln und Knollen zu erhalten, eine seinem Gebiß entsprechende Nahrung.

Scheu nähert sich einer einsamen Uferstelle ein anderer Waldbewohner. Es ist der langarmige *Gibbon Paidopithex rhenanus*, der im dichten Wald ein zurückgezogenes Leben führt. Auch der Schlankaffe *Sennopithecus* hatte die Baumkrone verlassen, um seinen Abendtrunk zu nehmen.

Da brach über die vielen Hunderte von Tieren, die an den verschiedenen Tränkestellen oberhalb von Westhofen und Eppelsheim und oberhalb vom Wißberg an jenem Abend ihren Durst stillen wollten, die Katastrophe herein. Offenbar waren im Oberlauf des Ur-Rheins heftige Wolkenbrüche niedergegangen. Die einzelnen Stromarme konnten die mit einer Flutwelle kommenden ungeheuren Wassermassen nicht mehr fassen. Sie bahnten sich neue Wege, durchbrachen trennende Sandbänke und strömten dem schon hoch angeschwollenen Eppelsheimer Flußarm zu; und jetzt jagte die mehrere Meter hohe Flutwelle mit einer Geschwindigkeit von mehreren Sekundenmetern in diesem daher. Sie drang in den Sumpfwald ein, schnitt allen an den Tränken sich aufhaltenden Tieren den Weg zum rettenden höher gelegenen Waldgelände ab und riß sie mit in die reißenden, mit Geröll, Ästen und Baumstämmen beladenen Fluten, wo die Tiere bald den Tod fanden. Selbst amphibisch lebende Tiere, wie Fischotter, Biber, Schildkröten, ja sogar Krokodile fielen der zermalmenden Wucht des Hochwassers zum Opfer. Die Äste und das Laub wurden bald zerrieben und nur einzelne Baumstämme trieben im Strom noch weiter und fanden sich noch weit unterhalb der Fangstelle am Steinberg südlich von Gau-Algesheim als nachträglich verkieselte Stammreste, eingebettet in die harten Quarzschotter. Vereinzelte hat auch W. Weiler bei Westhofen festgestellt.

Wir fragen uns zum Schluß, *ist es nur einmal* im Eppelsheimer Arm des Ur-Rheins *zu einer* solchen *Katastrophe gekommen?* Da zeigt uns das Studium einer der Kiesgruben am Wißberg, daß wir hier *3 voneinander getrennte Fossilhorizonte* übereinander unterscheiden können. Der *unterste*, grobkiesige *Kolkhorizont* verdankt der besprochenen großen Hochwasserkatastrophe seine Entstehung. Es ist der fossilreichste. Etwa 1,50 m darüber liegt in weniger grobem Schotter von rund 1 m Stärke ein *zweiter*, in dem vor allem die Reste von Tapir, Aceratherium incisivum, Sus paläochoerus und einem Mastodonzahn sich auf kleinem Raum vereint finden. Auch dieses Massengrab deutet auf eine Vernichtung durch Hochwasser und eine Kadaveranhäufung an dieser Stelle durch Stromwirbel. Anders liegen die Verhältnisse bei dem *obersten Fossilhorizont*, der von dem zweiten durch eine 1—1,50 m starke Sandlage getrennt ist. Er stellt einen von feinem Sand umgebenen Kiesbuckel dar (1947. 11b S. 3). Er kann als eine Kiesbank im Fluß gedeutet werden, die ein Fangrechen für die auf dem Fluß treibenden Kadaver bildete. Auf ihr lagen auf 1 qm die Geweihe von 7 Cervulinen, mehr oder weniger stark abgerieben, was bei Geweihen auch bei einem kurzen Flußtransport zu erwarten ist. Offenbar hatte eine stärkere Wasserwelle die Leichen einer ertrunkenen Cervulinenherde hier angeschwemmt. Da sich unmittelbar darunter im Kies viele Reste von Hipparion finden, so wird auch diese Kiesbank mit ihren Cervulinengeweihen einem Hochwasser ihren Ursprung verdanken, das auch wieder die Tierwelt stark in Mitleidenschaft zog.

Alle drei Horizonte gehören mit ihrer Gesamtstärke von 5 bis 6 m dem Unterpliozän an. Sie sind durch keine sehr große Zeitspannen getrennt. Jedem

Fossilhorizont ein geologisch wesentlich anderes Alter zuzuschreiben ist nicht angängig (1947. 11b S. 11).

Möge die Zeit nicht fern sein, wo wieder Mittel und Arbeitskräfte für wissenschaftliche Ausgrabungen zur Verfügung stehen, die uns im Flußgebiet des Ur-Rheines in Rheinhessen sicher noch große Ergebnisse auf dem Gebiet der Säugetierverbreitung und vielleicht auch der Menschheitsentwicklung bringen werden.

Eingegangen am 18. November 1947.

Literatur.

(1) Abel, O., Lebensbilder aus der Tierwelt der Vorzeit. Verlag G. Fischer, Jena (1922). — (2) Bartz, J., Das Unterpliozän in Rheinhessen. Mitt. d. Oberrheinisch. Geolog. Vereins B. XXV, S. 119 bis 226 (1936). — (3) Gieseler, W., Zur Beurteilung des Eppelsheimer Femur. Verh. d. Ges. f. Phys. Anthropologie, S. 34–45 (1926). — (4a) Haupt, O., Andere Wirbeltiere des Neozoikums. 9. Heft des Oberrheinischen Fossilkatalogs. Verlag Gebr. Borntträger (herausgegeben von Salomon-Calvi), Berlin (1935). — (4b) Haupt, O., Bemerkungen über die Hirsche aus dem Dinotheriensand Rheinhessens (3 Taf.) Notizbl. d. Hess. Geol. Land. Anstalt Darmstadt V. Folge, 16. Heft (1935). — (5a) Kaup, J. J., Description d'ossements fossiles de Mammifères inconnues jusqu'a présent, qui se trouvent au Muséum grand-ducal de Darmstadt, H. 1—5 (1832-1839). — (5b) Kaup, J. J., Beiträge zur näheren Kenntnis der urweltlichen Säugetiere, Heft 1—5, Darmstadt (1854—1861). — (6a) Klähn, H., Der Ur-Rhein, seine Ablagerungen und deren paläont. Inhalt. Abh. Naturf. Ges. Rostock, III. Folge, S. 235—240 (1927/29). — (6b) Klähn, H., Rheinhess. Pliocän bes. Unterpliocän im Rahmen des Mitteleuropäischen Pliocäns. Geol. Paläontol. Abh. N. Folge, Bd. 18, Heft 5 S. 1—6 (1931). — (7a) Königswald, R. von, Bemerkungen zur Säugetierfauna der rheinhessischen Dinotheriensande Senckenbergiana Bd. 11, S. 267—279 (1929). — (7b) Königswald, R. von, Ictitherium aus dem Unterpliocän von Eppelsheim und Frohnstetten. Zbl. f. Min. Abt. B, S. 646—649 (1928). — (8) Lamprecht, K., Aves im Fossilium Catalogus I Animalia, p. 12. Berlin (1921). — Handbuch der Palaeornithologie. Berlin (1933). — (9) Pohlig, H., Paidopithex Rhenanus n.g.n.sp., le singe anthropomorphe du Pliocène rhénan. Bull. Soc. Belge de Geol., de Paléont. et d'Hydrol. T IX. (1895). — (10) Staesche, K., Sumpfschildkröten aus Hessischen Tertiärablagerungen. Abh. Hess. Geol. Land. Anst. Darmstadt B.8 H. 4, S. 1—72 (1928). — (11a) Wagner, W., Das Mainzer Becken. Eine Zusammenstellung unter bes. Berücksichtigung der Rheintaltektonik. Mit 1 Idealprofil d. Mainzer Beckens, 3 Rheintalprofile, 1 tekt. Übersichtskarte und 1 geol. Karte des Mainzer Beckens. Mitt. d. Oberrhein. Geol. Vereins, Bd. XXVII, S. 25—62 (1938). — (11b) Wagner, W., Die unterpliozäne Wirbeltierfauna vom Wißberg bei Gau-Weinheim in Rheinhessen. Wissenschaftl. Veröffentl. d. Techn. Hochsch. Darmstadt, Bd. 1, 4. Beitrag (1947). — (12) Weiler, W., Gab es einen unterpliozänen „Eppelsheimer Fluß" in Rheinhessen? Ztbl. f. Min. B., S. 168—170 (1922). — (13) Weitzel, K., Neue Amphicyoniden aus dem Mainzer Becken (7 Taf.) Notizbl. d. Hess. Geol. Land. Anst Darmstadt V. Folge, H. 13, S. 80—102 (1931). — (14) Wehrli, H., Die Chalicotherien aus den Dinotheriensanden Rheinhessens. Mit. d. Reichsamtes f. Bodenforschung, Zweigst. Darmstadt V H. 21 (1939).

Zur Frage nach den Stoffbewegungen im Pflanzenkörper.

Von Walter Schumacher, Bonn.

Die Pflanzen benutzen als Leitungsbahnen für den Stofferntransport die Leitbündel, die aus 2 Teilen bestehen, dem Siebteil und dem Gefäßteil. Daß der Gefäßteil zur Leitung wässriger Lösungen dient, ist schon lange bekannt, dagegen sind erst etwa 15 Jahre vergangen, seitdem es gelang, den exakten Beweis dafür zu erbringen, daß die Siebröhren der Siebteile die besonderen Fernleitungsorgane für den Transport organischer Substanzen sind. Obwohl Mason und seine Mitarbeiter in Trinidad in weit ausgedehnten quantitativen Versuchen gefunden hatten, daß Konzentrationsschwankungen von Zuckern und *N*-Verbindungen in den Blättern mit kurzer zeitlicher Verzögerung in den inneren Rindenteilen des Stammes widergespiegelt wurden, und der Verfasser die direkte Durchwanderung isolierter Siebteile von Leitbündeln bewiesen hatte, war noch immer die Lokalisationsfrage innerhalb der siebröhrenhaltigen Gewebe offen. Erst die Beobachtung, daß Siebröhren, die unter der Einwirkung von Eosin die Poren ihrer Platten abgeriegelt hatten, den Stofftransport nicht mehr erlaubten, sowie endlich der Nachweis, daß der Farbstoff Fluoreszein sich auf weite Strecken mit großer Geschwindigkeit ausschließlich in den Siebröhren auszubreiten vermochte, löste die letzten Zweifel (10, 1930 u. 1933). Seitdem steht jedoch die Frage nach den treibenden Kräften der Stoffbewegung in den Siebröhren im Vordergrund des Interesses, ohne daß es bisher schon gelungen wäre, hier Klarheit zu schaffen. Es mag im gegenwärtigen Zeitpunkt vielleicht nicht unwillkommen sein, unter Verzicht auf die uns leider noch immer unzugängliche ausländische Literatur eine knappe Darstellung des gegenwärtigen Standes zu geben.

Noch bevor die experimentellen Unterlagen geschaffen waren, daß wirklich in den Siebröhren der Pflanze ein Ferntransport organischer Substanzen erfolgt, war von Münch 1930 (7) ein weitausgespannter theoretischer Versuch unternommen worden, die Mechanik des Stofftransportes im Pflanzenkörper zu erklären. Münch unterstellte, daß osmotische Druckdifferenzen im Siebröhrensystem eine Strömung des Siebröhrenzellsaftes zu den Orten niederen Druckes bewirken müßte, wobei das überschüssige Lösungsmittel am Ziel der Wanderung austreten und im wesentlichen in den Gefäßbahnen aufgenommen werden sollte. Die Hypothese hatte in ihrer Klarheit etwas sehr Bestechendes, mußte sich aber auf verschiedene unbewiesene Voraussetzungen stützen. Sie setzte voraus, daß der organische Stofftransport im Pflanzenkörper in Form einer strömenden Lösung im Siebröhreninneren erfolgte, wobei die gelösten Substanzen natürlich nicht unabhängig voneinander bewegt werden konnten. Sie setzte ferner voraus, daß der Transport immer nur in Richtung eines Konzentrationsgefälles, niemals aber gegen ein solches verlaufen konnte, und daß die anatomischen Strukturen der Leitbahn den Anforderungen einer solchen „Druckströmung" entsprachen.

Als reale Grundlage der ganzen Druckstromhypothese Münchs war zunächst neben einem reinen Modellversuch nur die Beobachtung vorhanden, daß bei manchen Bäumen zu gewissen Zeiten nach Anschneiden der Rinde ein wässriger Saft aufgefangen werden konnte, der reich an Zuckern und Stickstoffverbindungen war und wahrscheinlich aus den Siebröhren stammte. Daraus wurde gefolgert, daß bei dem geringen Volumen der Siebröhren eine gewisse Wegsamkeit derselben für Flüssigkeiten bestehen müsse und daß der ausgestoßene Saft der normale Stoffstrom, der „Assimilatstrom" im Pflanzenkörper sei. Huber (5) fand, daß eine gewisse tagesperiodische Rhythmik in der Konzentration solcher Siebröhrensäfte auftrat, die von ihm mit der Assimilationstätigkeit der Laubkrone in Verbindung gebracht wurde.

Dagegen mußten jedoch verschiedene Einwendungen gemacht werden. Der Saftfluß aus angeschnittenen Rinden ist durchaus nicht bei allen Pflanzen, ja tatsächlich nur bei relativ wenigen und dann nicht zu allen Zeiten zu beobachten. Ein Beweis dafür, daß er in unmittelbarer Verbindung mit einem normalen Stofftransport steht, war nicht erbracht worden. Es konnte sich ähnlich wie beim Milchsafterguß aus angeschnittenen Milchröhren um eine

pathologische Erscheinung handeln. Die Konzentrationsschwankungen im Siebröhrensaft konnten durch Exkretion und Speicherungsvorgänge in den Vakuolen der Siebröhren zustandekommen, ohne unmittelbar mit einem Stofftransport in Verbindung zu stehen. Der Versuch Münchs, eine Wasserausscheidung aus dem Phloem halbseitig abgelöster Rindenstreifen nachzuweisen, war mit unzulänglichen experimentellen Sicherungen angestellt worden und konnte in einer exakteren Nachprüfung von Weevers und Westenberg (14) nicht bestätigt werden. Auch Döpp (2) konnte sich bei wachsenden Kürbisfrüchten nicht davon überzeugen, daß in den Gefäßen ein rückläufiger Wasserstrom vorhanden war, wie er von der Druckstromhypothese gefordert wurde.

Aber auch in rein anatomischer Hinsicht mußten Bedenken gegen die Münchsche Hypothese aufkommen. Der Verfasser hatte sofort nach der Veröffentlichung Münchs darauf aufmerksam gemacht, daß die anatomische Struktur der Siebröhrenbahn eigentlich dem Grundgedanken seiner Konzeption völlig widersprach. Die glatte Röhrenstruktur einer Milchröhre, die heute allgemein nicht mehr als ein Transportorgan angesehen wird, mußte für eine solche Druckströmung weit geeigneter erscheinen, als die Siebröhren mit ihrer dauernden Unterbrechung der Leitbahn durch Querwände, die zwar siebartig durchbrochen sind, deren Poren aber doch in vielen Fällen so fein sind, daß sie die Dimension von Plasmodesmen annehmen. Bei den gesamten Nadelhölzern, aber auch bei vielen anderen Pflanzen, ist die Münchsche Voraussetzung einer offenen Vakuolenverbindung von einem Siebröhrenglied zum anderen durch die Poren hindurch bestimmt nicht zutreffend. Die Poren sind von homogenem Plasma erfüllt, und ein Flüssigkeitsstrom, der hier hindurchtreten sollte, müßte entweder durch dieses Plasma hindurchfiltrieren oder den Porus durchstoßen. Letzteres tritt möglicherweise beim Anschneiden der Siebröhren ein, zumal ein Saftaustritt immer nur bei sehr großporigen Siebröhren zur Beobachtung kommt. Hilfskonstruktionen, wie die, daß das Plasma abnorme Durchlässigkeitsverhältnisse aufweisen sollte, konnten nicht befriedigen, zumal sie teilweise auf unrichtigen Beobachtungen beruhten. Weder war eine abnorme Permeabilität nachzuweisen, noch das Fehlen eines Tonoplasten, ja die alten Beobachtungen von Schmidt (13), daß von dem wandständigen Plasmabelag der Siebröhren aus feine Plasmafäden und -netze die Vakuole durchziehen, konnten gerade neuerdings wieder bestätigt werden und sprechen gegen die Existenz einer Lösungsströmung durch die Vakuole.

Auch andere anatomische Beobachtungen waren nicht mit dieser Hypothese zu vereinigen. Mason (6d) hatte an den Knoten von Dioscoreen-Sprossen eine völlige Unterbrechung der Siebröhrenbahn durch parenchymatische Gewebegruppen gefunden. Münch (7, 1943) selbst hatte zuletzt noch angegeben, daß die Zahl der Poren vor allem bei schräg geneigten Siebplatten so groß sei, daß die Perforierung keine Einengung des Querschnittes der Strombahn bewirke. Eine genaue Ausmessung der Poren bei der sehr großporigen Zaunrübe Bryonia dioica (11) ergab jedoch, daß die an den Platten wirklich für den Durchtritt zur Verfügung stehende Fläche nur wenige Prozente des Siebröhrenquerschnittes ausmacht. Die Siebplatte muß also auf alle Fälle ein Stromhindernis bedeuten! Auch eine weitere Folgerung Münchs bestätigte sich an demselben Objekt nicht. Münch hatte angenommen, daß die dauernde Einführung von Seitenbahnen, etwa aus den Blättern, in die Strombahn der Hauptachse eine relative Einengung des Strombettes in letzterer bewirke, wodurch sich die Beschleunigung der Stoffbewegung in diesen Fernbahnen erklären sollte. Tatsächlich ist jedoch von einer solchen relativen Einengung kaum etwas zu bemerken, da sich die Siebröhren in der Hauptachse in offenbar ziemlich gesetzmäßiger Weise erweitern, bis zu einem Maximum im unteren Sproßdrittel, von wo aus nach den Wurzeln zu eine erneute Abnahme der Dimensionen erfolgt (11).

Was schließlich die von der Hypothese geforderten osmotischen Konzentrationsdifferenzen betrifft, so schien hier die Grundannahme, daß die Stoffbewegung stets von einer Stelle hoher zu einer Stelle niedriger Konzentration gehen sollte, im großen ganzen zuzutreffen. Doch fehlte es nicht an einigen gegenteiligen Befunden (Curtis, 1), die mit der Hypothese nicht zu vereinigen waren. Am besten schienen die Voraussetzungen noch für die Erklärung eines Sonderfalles der Stoffbewegung zuzutreffen, nämlich für die eigenartigen Plasmaflutungen in Pilzmyzelien, die, soweit sich heute sehen läßt, tatlich auf einem osmotischen Prinzip zu beruhen scheinen, und bei denen auch das von der Theorie geforderte Austreten des wässrigen Lösungsmittels nachzuweisen ist. Bei den Siebröhren freilich kann eine ähnliche Plasmaflutung aus verschiedenen Gründen nicht angenommen werden. Bedenklich mußte auch die Angabe Masons (6c) stimmen, wonach sich Rohrzucker in den Blättern gegen ein Konzentrationsgefälle in die Siebröhren hineinbewege, was nur durch eine Drüsenmechanik zu erklären wäre.

Ganz unvereinbar mit der Druckstromhypothese sind schließlich Befunde, daß verschiedene Stoffe gleichzeitig in den Siebteilen in verschiedener Richtung zu wandern vermögen (Fischer) (3). Eine solche Möglichkeit, die aus verschiedenen physiologischen Erwägungen heraus fast als Bedürfnis für den Organismus gefordert werden müßte, könnte nur dann von der Druckstromlehre erklärt werden, wenn die entgegenlaufenden Ströme verschiedene Siebröhren benutzten, die osmotischen Konzentrationen im Phloem aber höchst eigenartige Unterschiede aufweisen würden, wofür bis jetzt jede experimentelle Erfahrung fehlt.

Wägt man alle diese Erfahrungen und Beobachtungen gegeneinander ab, so muß man leider sagen, daß die Versuche, Beweise für die Realisierung der von der Druckstromhypothese geforderten Verhältnisse im Siebröhrensystem der höheren Pflanze zu finden, mißlungen sind, und ein so schwerwiegendes Tatsachenmaterial gegen diese Hypothese spricht, daß die Aufmerksamkeit notwendig auf andere etwa vorhandene Möglichkeiten zur Erklärung des organischen Stofftransportes gelenkt werden muß.

Die Schwierigkeiten, hier weiter vorzustoßen, sind deswegen so groß, weil sich die Stoffleitungsvorgänge in den so schwer zugänglichen und überaus empfindlichen lebenden Siebröhrenelementen abspielen, und die darin bewegten Stoffe, die Zucker-, *N*-Verbindungen usw., sich dem vitalen Nachweis durch chemische Reagenzien während der Wanderung entziehen. Aus diesem Grunde hatte der Verfasser auch zunächst für den Nachweis, daß die Siebröhren überhaupt zu einer Stoffleitung befähigt sind, bewußt andere Wege eingeschlagen. Die Einführung von Fluoreszein und die Möglichkeit, diesen Stoff durch kurzwellige Bestrahlung vital in den unverletzten Siebröhren sichtbar zu machen und seine Ausbreitung darin zu verfolgen, war allerdings zunächst nur als Modellversuch gedacht gewesen, sei es, daß der eingeführte Farbstoff von dem gesuchten Stoffstrom passiv mitgerissen würde, sei es, daß er sich darin unabhängig zu bewegen vermochte. Die einzigartige Möglichkeit, den

Transport eines bestimmten Stoffes überhaupt einmal vital beobachten zu können, schien so reizvoll, daß die Frage, wie weit die Bewegung eines Fremdstoffes mit der der körpereigenen Substanzen identifiziert werden durfte, zunächst zurückgestellt werden mußte.

Folgende Tatsachen wurden mit dieser Methode festgestellt:

1. Wenn sich das Fluoreszein (dasselbe gilt auch für das ebenfalls wanderungs- und fluoreszensfähige Aesculin) in den parenchymatischen Zellketten etwa von Kürbishaaren ausbreitet, so erfolgt die Wanderung von Zelle zu Zelle ausschließlich im Protoplasma, was gegenüber gewissen späteren Befunden von Strugger (12) über die Möglichkeit von Wasserströmungen in Zellwänden ausdrücklich hervorgehoben werden muß. Es ist eine Bewegung der Moleküle unabhängig vom Lösungsmittel und unabhängig von der Protoplasmaströmung. Sie zeigt eine ausgesprochene Polarität und verläuft immer nur von der Basis zur Spitze des Haares, nie umgekehrt. Die Abhängigkeit der Ausbreitungsgeschwindigkeit von der Konzentration des Wanderstoffes und der Temperatur deutet auf einen diffusionsartigen Mechanismus, der jedoch durch die Eigenart des Diffusionsmediums, des lebenden Protoplasmas, gewisse Modifikationen erfährt. An den Zellgrenzen kann unter Umständen der Übertritt zur Nachbarzelle willkürlich abgestoppt werden, unter Umständen aber auch so leicht erfolgen, wie wenn überhaupt kein Hindernis vorhanden wäre. Trotz der Schärfe der Methode, die hinsichtlich der Lokalisierungsmöglichkeit in der Zelle selbst der modernen Technik mit radioaktiven Substanzen überlegen ist, gelang es bisher nicht, zu ermitteln, ob der Übergang von einer Zelle zur anderen durch die Plasmodesmen erfolgt oder durch die gesamte Oberfläche, eine Frage, deren Lösung für die Permeabilitätsforschung von großer Bedeutung wäre. Gewisse Beobachtungen über den Stoffaustausch zwischen Parasiten und Wirtspflanzen, der ebenfalls mit Hilfe des Fluoreszeins leicht demonstriert werden kann, deuten indessen auf die zweite Möglichkeit.

2. Wird Fluoreszein den Parenchymzellen der Blattnerven geboten, so wird der Farbstoff zunächst von diesen gespeichert, dann aber, vielleicht über die Geleitzellen, in die Siebröhren weitergegeben, wo er sich nun auszubreiten beginnt. Bei vielen Pflanzen besteht auch hier eine ausgeprägte Polarität, d. h. das Fluoreszein wandert in den Blattnerven nur nach abwärts zum Stiel und durch diesen in den Stamm. Eine umgekehrte Bewegungsrichtung ist möglich, aber selten realisiert. Häufiger sieht man in den Leitbahnen des Stammes eine Bewegung bald nach aufwärts, bald nach abwärts, ja gleichzeitig nach beiden Richtungen, wobei auch neuerdings wieder Anhaltspunkte dafür gewonnen wurden, daß diese zweiseitige Ausbreitung in denselben Siebröhrenbahnen erfolgt.

Die Geschwindigkeit der Farbstoffbewegung in den Siebröhren wird durch Erhöhung der Temperatur gesteigert und liegt etwa im Größenbereich zwischen 2 cm und 50 cm/h. In jungen Organen ist sie größer als in alten, in weiten Siebröhren größer als in engen. Doch beeinflussen offenbar viele Faktoren die Wanderungsgeschwindigkeit. Nie reißt der leuchtende Strom in der Siebröhrenbahn ab, sondern breitet sich von der Einführungsstelle an in einem kontinuierlichen Bande aus, wobei an der Spitze der Wanderwelle oft ein mehrere Zentimeter messendes Konzentrationsgefälle zu beobachten ist. Die Strecke, über die sich der Farbstoff in den Siebröhren zu bewegen vermag, wird von der Menge des gebotenen Fluoreszeins bestimmt. Bei geringer Farbstoffgabe kommt die Bewegung nach kurzer Zeit zum Stillstand, wird aber bei erneuter Zufuhr wieder aufgenommen, gleich wie wenn der leuchtende Strom von der Einführungsstelle aus vorwärtsgeschoben würde. Diese „Schiebewirkung" üben jedoch nur artgleiche Moleküle aufeinander aus. Aesculin und Fluoreszein beeinflussen sich in derselben Siebröhre in keiner Weise, sondern wandern unabhängig voneinander und aneinander vorbei.

Eine Narkose der Bewegung gelang bis jetzt nicht, obwohl alle Beobachtungen darauf hindeuten, daß sich der Farbstoff ähnlich wie in den Parenchymzellen im lebenden Plasma der Siebröhren befindet. Während in den durchsichtigen Zellketten der Kürbishaare mit Sicherheit zu beobachten ist, daß keine sekundäre Absorption im Plasma erfolgt, sondern der primäre Wanderweg im oder am Plasma verläuft, bietet die genaue Beobachtung der so zarten und verletzlichen Siebröhren große Schwierigkeiten. Der Befund des Verfassers, daß der Siebröhrensaft beim Kürbis unmittelbar nach dem Anschneiden farbstofffrei ist und das Fluoreszein erst einige Zeit nach der Verletzung darin auftritt, deutet neben anderen Beobachtungen darauf hin, daß auch in den Siebröhren die primäre Wanderbahn nicht der Zellsaft, sondern das Plasma ist.

Diese Feststellung hat natürlich im Hinblick auf die Druckstromhypothese, aber auch in anderer Beziehung für die Aufklärung der Bewegungsmechanik erhebliche Bedeutung. Rouschal (9) hatte 1941 geglaubt, einen Beweis gefunden zu haben, daß auch bei dem Fluoreszein die Bewegung durch osmotische Kräfte im Sinne der Münch'schen Hypothese erfolge. Durch Plasmolyse mit Glyzerin schuf er künstlich ein Druckgefälle und fand, daß sich der Farbstoff stets in Richtung dieses Druckgefälles bewegte, auch wenn hierdurch die normale polare Bewegungsrichtung in den Organen umgekehrt wurde. Eine Nachprüfung seiner Ergebnisse zeigte indessen, daß die Ersetzung des Glyzerins durch Rohrzucker nicht die gleiche Wirkung zeitigte, daß also die Umkehrung der Stromrichtung nicht auf eine reine Druckwirkung im Sinne der Druckstromhypothese zurückgeführt werden durfte, sondern einer spezifischen Reizwirkung des Glyzerins auf das Plasma zuzuschreiben war.

Der Verfasser hatte schon früher angenommen, daß die Bewegung der Farbstoffe in den Siebröhren überhaupt nicht durch eine strömende Lösung zustandekomme, sondern ähnlich wie in den Parenchymzellen eine Bewegung der Moleküle unabhängig vom Lösungsmittel darstellen müsse. Der Beweis für diese wichtige Erkenntnis wurde zunächst daraus abgeleitet, daß der Farbstoff auch bei kleinen Gaben niemals fortgeschwemmt wurde, sondern nach Maßgabe seiner Menge nur eine bestimmte Strecke im Siebröhrenplasma bedeckte, und daß artgleiche Moleküle aufeinander eine Schiebewirkung äußerten, artfremde dagegen unabhängig voneinander wanderten. Ein erneuter Beweis konnte dann 1944 (10) dadurch erbracht werden, daß an abgeschnittenen Blättern eine Ausbreitung des Farbstoffes in der Siebröhrenbahn bis unmittelbar an den Schnittrand beobachtet wurde, obwohl experimentell durch Infiltration mit Kakaobutter die Möglichkeit einer gleichzeitigen Wasserausscheidung oder Verschiebung in den Gefäßen ausgeschaltet worden war. Diese Versuche lassen nunmehr keine andere Deutung mehr zu als die, daß die Bewegung des Fluoreszeins auch in den Siebröhren eine Molekularbewegung ist unabhängig von einer gleichzeitigen Bewegung des Lösungsmittels.

Es gibt bisher in der Physiologie keine Parallele zu den eigenartigen Verhältnissen, die nach diesen Befunden als treibende Kräfte der Stoffbewegung in den Siebröhren vorhanden sein müssen. Die Frage ist nun: Läßt sich erwarten, daß eine weitere Aufklärung der Bewegungsmechanik dieser Farbstoffe auch für die Erklärung des normalen organischen Stofftransportes im Pflanzenkörper von Bedeutung ist? Darf hier verallgemeinert werden?

Sicher ist folgendes: Die Siebröhren sind die spezifischen Fernleitungsorgane für organische Substanzen. Sie leiten sowohl diese als auch das Fluoreszein und Aesculin. Richtung und Geschwindigkeit der Farbstoffströme stehen nicht im Gegensatz zu dem wenigen, was wir über die Bewegung der Assimilate in den Siebröhren bisher überhaupt wissen. Beide Transporte zeigen die gleiche Abhängigkeit ihrer Geschwindigkeit von der Temperatur. Fluoreszein wird auch von Schmarotzerpflanzen aus den Siebröhren der Wirte übernommen, genau so, wie von dort auch die Zucker-, *N*-Verbindungen usw. übernommen werden müssen. Es spricht also bisher keine Beobachtung dagegen, daß die Bewegung der Farbstoffe in den Siebröhren denselben Gesetzmäßigkeiten folgt, wie sie für den Transport der körpereigenen Substanzen gelten müssen. Die von Palmquist (8) gemachte Feststellung, daß Fluoreszein unter Umständen auch gegen einen Kohlehydratstrom in den Siebröhren zu wandern vermag, eine Beobachtung, die sich insofern mit eigenen Befunden deckt, als das Fluoreszein auch dann noch zu wandern vermag, wenn mit Sicherheit keine anderen Assimilate gleichzeitig wandern, steht keineswegs im Gegensatz zu obiger Annahme. Sie widerspricht lediglich der Vorstellung von einer Massenströmung, die nur die gleichzeitige Bewegung aller Substanzen erlaubt. Gerade das aber war eine Schwäche der Münchschen Konzeption.

Wie aber sollen wir uns nun die Bewegungsmechanik der Stoffe in den Siebröhren allgemein vorstellen? Darauf läßt sich gegenwärtig leider im wesentlichen nur eine negative Antwort geben. Es ist klar, daß eine einfache Diffusionsbewegung, die im Größenbereich der Parenchymzellen ernstlich diskutiert werden muß, für die großen Strecken und Geschwindigkeiten der Leitung in den Siebröhren nicht in Frage kommen kann. Aus diesem Grunde haben Mason und seine Mitarbeiter (6a, b), die ähnlich wie der Verfasser von vornherein der Annahme einer Massenströmung in den Siebröhren skeptisch gegenüberstanden, von einer „aktivierten Diffusion" gesprochen und dabei offenbar an eine Beteiligung der Atmungsenergie gedacht. Ihre Vorstellung ist physikalisch jedoch noch ganz unklar und bedeutet daher noch keine Erklärung. Richtig ist davon vielleicht das folgende: Wenn es zutrifft, daß das Plasma die eigentliche Wanderbahn darstellt — und ein Beweis dieser Annahme kann bisher allein aus den Beobachtungen am Fluoreszein abgeleitet werden —, dann muß damit gerechnet werden, daß in der so rätselhaften Konstitution des Plasmas unter Umständen auch Bedingungen und Möglichkeiten vorhanden sind, von denen wir uns zur Zeit noch keine zutreffenden Vorstellungen machen können. Es muß hier nachdrücklich auf die gewöhnliche Protoplasmaströmung hingewiesen werden, deren Mechanik ebenfalls noch immer jeder kausalen Erklärung spottet. Zwar dürfte diese Plasmabewegung selbst kaum, wie dies von amerikanischer Seite angenommen wird, unmittelbar als Träger des Stofftransportes in Frage kommen. Für Fluoreszein liegt hierfür bei den Parenchymzellen der Kürbishaare ein direkter Gegenbeweis vor. Aber ihr Auftreten zeigt doch eben das Vorhandensein unbekannter Kräfte und Mechanismen im Protoplasma. Auf ein aktives Eingreifen des Plasmas auch beim Stofftransport deutet u. a. die Beobachtung, daß das Fluoreszein beim Übertritt von einer Zelle zur anderen bald gebunden, bald freigegeben werden kann, daß also eine Art von Drüsenmechanik hier eine Rolle spielt, sowie der jüngste Befund von A. Schumacher (11), daß weite plasmareiche Siebröhren rascher transportieren als enge plasmaarme, auch wenn die Konzentration des Farbstoffes in ersteren niedriger ist.

Wie weit die Tatsache, daß der Stofftransport oft eine ausgeprägte Polarität zeigt, mit der Mechanik dieses Transportes in Zusammenhang gebracht werden darf, ist noch nicht abzusehen. Es ist durchaus möglich, daß sich hier lediglich eine innere Ausrichtung der Transportbahn nach Art einer Weichenstellung auswirkt, die nicht direkt mit den Triebkräften der Bewegung in Verbindung gebracht werden kann.

Ein Prinzip, das ebenfalls ernste Beachtung verlangt, ist weiter die Spreitung an Oberflächen, die nach einem Modellversuch von van den Honert (4) eine sehr rasche molekulare Ausbreitung auf großen Strecken erlaubt. Es ist in diesem Zusammenhang bedeutungsvoll, daß das Plasma des Siebröhrensystems tatsächlich eine erhebliche innere Oberfläche entwickelt. Die genaue Durchmessung einer etwa 8 m langen Pflanze von Bryonia dioica (11) hat gezeigt, daß bei einem Zellsaftvolumen von insgesamt nur 4 ccm die Tonoplastenfläche der Siebröhren insgesamt beinahe 1 qm betrug, wobei die Perforierung der Siebplatten noch eine weitere Vergrößerung der Oberfläche bedeutete. Nach den Beobachtungen am Fluoreszein dürfte aber wahrscheinlich nicht nur die Tonoplastenfläche, sondern die gesamte innere Oberfläche des Plasmas in Frage kommen, so daß noch mit einem Vielfachen der obigen Zahl zu rechnen ist! Ein direkter Zusammenhang zwischen der bisher allein meßbaren Tonoplastenfläche und der Ausbreitungsgeschwindigkeit des Fluoreszeins konnte nicht nachgewiesen werden, war aber nach Lage der Dinge auch kaum zu erwarten. Da genaue physikalische Grundlagen für diesen Bewegungsmechanismus noch fehlen, ist es vorläufig nicht abzusehen, wie weit ein Spreitungsprinzip in den Siebröhren realisiert ist bzw. neben den anderen vorstehend angedeuteten Kräften in Betracht gezogen werden muß. Hier können erst weitere Untersuchungen Aufklärung bringen, über deren Schwierigkeit nach dem Gesagten keine Zweifel bestehen dürften. Wer, wie der Verfasser, einmal das Wunder mit Augen gesehen hat, wie sich ein Fluoreszeinstrom gegen die Protoplasmaströmung auszubreiten vermag, weiß, daß wir mit unseren Fragen an das Rätsel des Protoplasmas selbst rühren, das zu lösen noch keinem Menschen beschieden war.

Eingegangen am 24. Oktober 1947.

Literatur.

(1) Curtis, Amerik. Yourn. of Bot. 16 (1929). — (2) Döpp, Jahrb. f. wiss. Bot. 87 (1939). — (3) Fischer, Z. f. Bot. 30 (1936). — (4) van den Honert, Proceed. Kon. Akad. Wetensch. 35. Amsterdam (1932). — (5) Huber, Schmidt, Jahnel, Tharandter Forstl. Jahrb. 88, H 12. — (6) a) Mason and Phillis, Botanical Review 3 (1937). — b) Mason and Phillis, Proceed. 6. Intern. Bot. Kongr. 2 (1935). — Anals of Bot. 50 (1936). — c) Mason and Phillis, Anals of Bot. 47 (1933). — d) Mason, Proceed. Roy. Dublin Soc. 18 (1926). — (7) Münch, Die Stoffbewegung in der Pflanze, Jena (1930). — Münch, Flora 36 (1943). — (8) Palmquist, Amerik. Yourn. of Bot. 25 (1938). — (9) Rouschal, Flora 35 (1941). — (10) Schumacher, W., Jahrb. f. wiss. Bot. 78 (1930; 77 (1933); 82 (1936); 85 (1937); 87 (1938); 1944 im Druck. — (11) Schumacher, A., Planta, im Druck (1947). — (12) Strugger, Flora 32 (1938). — (13) Schmidt, Bau und Funktion der Siebröhren der Angiospermen. Jena (1917). — (14) Weevers und Westenberg, Proceed. Kon. Akad. Wetensch. Amsterdam 34 (1931).

Einfache Grundvorgänge in der tierischen Entwicklung I.

Über Zellteilung, Wachstum und Formbildung in der Organentwicklung der Insekten.

Von Karl Henke, Göttingen.

(Fortsetzung und Schluß.)

B. Wachstum und Formbildung des Insektenflügels.

Für Untersuchungen über die Entwicklung der Größe und Form vielzelliger Gebilde bieten die Insektenflügel mit ihrem flächenhaften Charakter besonders übersichtliche, dabei zugleich experimentell günstige Objekte. Sie bauen sich im wesentlichen aus den beiden aufeinander gelagerten Blättern einer Epithelfalte auf, welche die Ober- und Unterseitenlamelle des Flügels bilden. Die einzige für die Morphologie des Gesamtflügels wichtig erscheinende Differenzierung dieser Epithelien bildet das Flügelgeäder, ein mit der Leibeshöhle kommunizierendes Hohlraumsystem im Innern des Flügels, das von einem in beiden Blättern gleichlaufend ausgebildeten System leisten- bis rinnenförmiger Chitinverstärkungen umkleidet ist. Bei der Taufliege *Drosophila melanogaster* und der *Mehlmotte Ephestia kühniella*, an denen die im folgenden geschilderten Befunde erhoben wurden,

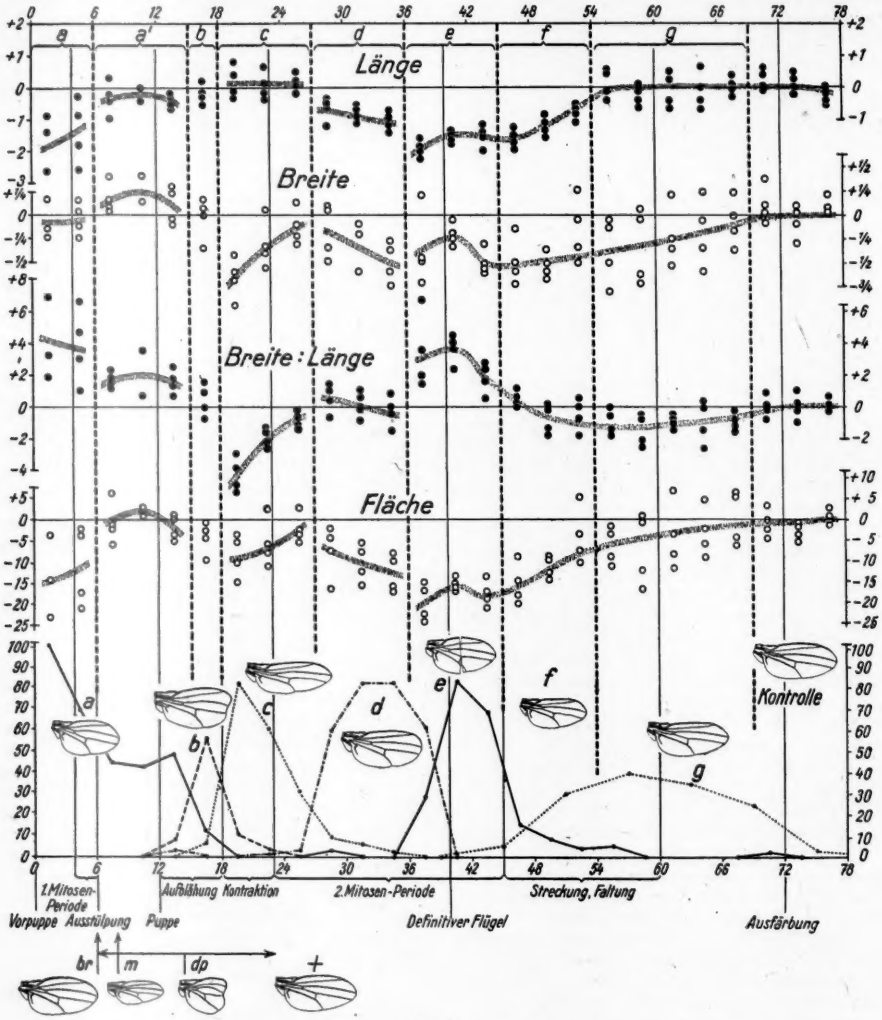


Fig. 11.
Hitzemodifikabiltät der Flächengröße und Form des Flügels von *Drosophila*; nach Untersuchungen von E. Schatz. Abszissen: Entwicklungsabschnitte (nach Waddington) und Reizaltersstufen in Stunden. Ordinaten im oberen Teil der Figur: Abweichungen der mittleren Flügelmaße vom Kontrollwert. Ordinateneinheiten für Länge und Breite: 0,1 mm; für das Breitenlängenverhältnis: Prozent; für die Fläche: 0,01 mm². Eingetragen sind die Mittelwerte für jedes der beiden Geschlechter in zwei getrennten Versuchsreihen. — Darunter sensible Perioden für die verschiedenen Modifikationstypen. Ordinate: Häufigkeit der Modifikationstypen in Prozent. *a* 1. plumper Typus (der Nebengipfel bei Reizaltersstufe 12—15 entspricht einem hier nicht behandelten, im oberen Teil der Figur als *a'* abgegrenzten 2. plumpen Typus); *b* abgestutzt; *c* 1. schlanker Typus; *d* Spitze abgerundet; *e* 3. plumper Typus; *f* maßstabsgerecht verkleinert (Häufigkeitskurve nicht eingetragen); *g* 2. schlanker Typus. — Unter der Kurvenfigur auf ihr Zellmosaik untersuchte Mutanten; die Pfeile geben die phänokritischen Phasen nach Waddington an.

sind Größe und Form der Flügel durch äußere Einwirkungen leicht modifizierbar, und eine Reihe von Mutationsrassen bietet weitere Angriffspunkte für die entwicklungsphysiologische Analyse. Manche dieser einfach mendelnden innerartlichen Erbvariationen sind zugleich dadurch bemerkenswert, daß sie den charakteristischen, sichtlich mit der Flugart und der Flugleistung zusammenhängenden Unterschieden zwischen Arten von verschiedener Lebensweise gleichen und damit als Auslesematerial für die phylogenetische Herausbildung verschiedener Anpassungstypen in Betracht kommen.

Bei den holometabolen Insekten, von denen hier die Rede ist, finden Wachstum und Ausformung der Flügel hauptsächlich im Endabschnitt der Larvenperiode, und zwar auf dem sogenannten Vorpuppenstadium, sowie während der Puppenzeit statt. Die wichtigsten Etappen dieses Ablaufs sind für *Drosophila* an der Abszisse der Fig. 11 nach den Angaben von Waddington (18) verzeichnet. Die ursprünglich ins Innere des Körpers versenkte Flügelanlage macht bei der Vorpuppe eine erste Periode lebhafter Zellteilungstätigkeit durch und wird dann durch einen Ausstülpungsprozeß an die Oberfläche des Körpers gebracht. Hierbei nimmt sie an Größe erheblich zu. Bei der jungen Puppe bläht sie sich zunächst auf, kontrahiert sich dann wieder, wobei die Ausbildung des Geäders einsetzt, und nun folgt eine zweite Mitosenperiode. In dieser Zeit, mit dem Stadium des definitiven Flügels, kommt die Anlage der Adern zum Abschluß. Nachdem sich der Flügel erneut gestreckt und schließlich aufgefaltet hat, wird seine Entwicklung mit der Abscheidung und Ausfärbung des Chitins beendet. Wenn die Fliege geschlüpft ist, wird er nur noch unter dem Druck der in die Adern eingepreßten Hämolymphe ausgeglättet und auf seine volle Größe gebracht.

An der Herstellung der endgültigen Größe des Drosophilaflügels wirken also im wesentlichen drei verschiedene Arten von Teilvorgängen mit: zunächst Zellteilungen, dann Vergrößerungen durch aktives Zellwachstum oder durch passive Dehnung des Flügels, schließlich, in der Kontraktionsphase, auch eine deutliche Größenabnahme. Soweit diese Prozesse nicht gleichförmig sondern geordnet, d. h. unter Bevorzugung bestimmter Richtungen oder Flächenteile vor sich gehen, verändern sie außer der Größe auch die Form der Anlage. Ihre Bedeutung in den einzelnen Phasen der Flügelentwicklung tritt besonders hervor bei einer Untersuchung der Abweichungen vom normalen Entwicklungsverlauf, wie sie bei Modifikationen und Mutationen auftreten. Hierbei ergeben sich zugleich gewisse Folgerungen hinsichtlich der Lenkung der Teilprozesse der Flügelentwicklung in ihren einzelnen Abschnitten durch verschiedene Entwicklungsfaktoren.

Am unteren Rand der Fig. 11 sind die phänokritischen Phasen, d. h. die Zeiten der ersten sichtbaren Abweichung von der normalen Entwicklung, für einige der von Waddington (18) genauer untersuchten Mutanten eingetragen. Hinsichtlich der Modifikabilität (19, 20, 15) der Größen- und Formentwicklung des Flügels ergab die planmäßige Feststellung der Änderungen bestimmter Hauptmaße nach Hitzereizung auf verschiedenen genau bestimmten Entwicklungsstadien eine Reihe verschiedener Reaktionsperioden (21), die in der Darstellung der Messungsergebnisse im oberen Teil der Fig. 11 durch punktierte senkrechte Linien voneinander abgegrenzt sind. Sie stellen die sensiblen Perioden für die Auslösbarkeit verschiedener Modifikationstypen dar, deren jeweilige Häufigkeit im unteren Teil der Abbildung in Form von Variationskurven dargestellt ist. Einige dieser Modifikationen sind außer durch ihre Hauptmaße und das Verhältnis von Breite zu Länge des Flügels auch durch bestimmte Abänderungen der Verlaufsweise des Flügelumrisses gekennzeichnet, die quantitativ schwer zu erfassen, dafür aber um so leichter nach dem Augenschein zu bewerten sind (b, d).

Um über die Abweichungen in der Entwicklungsweise dieser verschiedenen Größen- und Formtypen von der Norm zuverlässige Aussagen machen zu können, muß festgestellt werden, in welcher Weise ihr Zellmosaik, d. h. die Anzahl, Größe, Form und Anordnung ihrer Epithelzellen verändert ist. Zu diesem Zweck wurden in eingehenden, erst teilweise veröffentlichten Untersuchungen (21), die E. Schatz an einem umfangreichen von H. Schwenk hergestellten Material durchführte, zunächst die Anzahlen der Epithelzellen jeweils in 42 gleichmäßig über den Flügel verteilten Flächenstücken von bestimmter Ausdehnung festgestellt, wobei die Aderzüge vorläufig ausgeschlossen wurden. Durch Auszählen der Flügelhaare, von denen immer eines in der Mitte der einzelnen Epithelzelle entspringt, ist diese Arbeit verhältnißmäßig leicht durchzuführen. Die so gewonnenen Werte können zur Berechnung von Vergleichswerten für die Gesamtzellenanzahl einer Flügellamelle dienen. Weiterhin erhält man ein anschauliches Bild von der Anordnung verschieden großer Zellen auf dem Flügel, wenn man die Orte gleicher Zelldichte, d. h. gleicher Zellenanzahl je Flächeneinheit, durch Linien ähnlich den Höhenlinien auf einer Landkarte miteinander verbindet und den Zonen verschiedener Zelldichte, die so voneinander abgegrenzt werden, entsprechend den steigenden Dichtezahlen Tonwerte von zunehmender Dunkelheit gibt. Fig. 12a zeigt das so als Durchschnittsergebnis aus 6 Einzelflügeln gewonnene Zelldichtebild der Oberseite des Normalflügels. Die Unterseite bietet mit großer Annäherung das gleiche Bild.

Vergleicht man hiermit die nach Maßverhältnissen und Umriß normalen, in ihrer Flächengröße aber mehr oder weniger stark veränderten Flügel der Fig. 12 b-d, so zeigt sich, daß der vergrößerte Flügel in b im ganzen heller, die beiden verkleinerten Flügel in c und d im ganzen dunkler erscheinen als der normale. Im ersten Fall sind also die Epithelzellen allgemein vergrößert, im zweiten verkleinert. Die Berechnung der Gesamtzellenanzahl ergibt im ganzen eine gute Übereinstimmung mit dem Normalwert. Hier ist also die Größenänderung der Flügel allein oder doch überwiegend durch Änderungen der Zellgröße bedingt. Dagegen ist im Fall der Fig. 12e, bei dem die Flügelfläche noch stärker als bei b vergrößert ist, die Zellgröße ähnlich wie beim Normalflügel, streckenweise sogar etwas geringer, während die Vergleichszahl für die Gesamtzellenanzahl um annähernd denselben Betrag wie der Flächeninhalt gegenüber der Norm vergrößert ist. Hier ist also die Zellteilungstätigkeit erhöht. Anderseits hat sie bei den verkleinerten Flügeln in g und h abgenommen, denn hier ist bei durchschnittlich annähernd normaler Zelldichte die Gesamtzellenanzahl im gleichen Verhältnis wie die Flächengröße herabgesetzt.

Abänderungen der allgemeinen Maßverhältnisse des Flügels, wie sie in den Fällen Fig. 12 e-h vorliegen, könnten ebensowohl auf einer allgemeinen Änderung des Breitenlängenverhältnisses der Zellen beruhen, wie auf einer veränderten Verteilung der in ihren Maßverhältnissen normalen Zellen in der Längs- und Querrichtung des Flügels. Die Zelldichtebilder sagen hierüber nichts aus; um die Frage zu entscheiden, muß das mittlere Breitenlängenver-

hältnis der Epithelzellen erfaßt werden. Dies kann dadurch geschehen, daß man den Abstand des Fußpunktes einzelner Epithelhaare von dem nächstgelegenen und dem entferntesten Haarfußpunkt in den unmittelbar benachbarten Epithelzellen ausmißt. Bei den plumpen Flügeln in Fig. 12 e-g ergab diese Untersuchung durchweg normale Werte; hier kann also die Formänderung nur auf einer veränderten Anordnung der Zellen in bezug auf die Flügelachsen beruhen. Bei e hat die Zellvermehrung, die die Vergrößerung der Flügelfläche bedingt, hauptsächlich die Querrichtung betroffen, bei dem verkleinerten Flügel in g hat die Zellenanzahl ganz überwiegend in der Längsrichtung abgenommen, und in f sind die Zellen bei normaler Gesamtanzahl und normaler Flächengröße des Flügels in der Querrichtung auf Kosten der Längsrichtung vermehrt. Andererseits ist bei der Ausbildung der schlanken Flügelform in Fig. 12h neben einer Herabsetzung der Zellenanzahl in der Querrichtung des Flügels eine allgemeine Formänderung der Zellen beteiligt.

Hier ist nun zugleich eine charakteristische Veränderung im Verlauf des Flügelumrisses erkennbar, indem die Flügelspitze wesentlich stärker als bei der Normalform hervortritt. Umgekehrt erscheint sie bei i abgerundet, und bei k und l ist sie eingezogen, so daß nun ein ganz verändertes Formbild des Flügels entsteht. Die Betrachtung der Zelldichtebilder zeigt, daß diese Änderungen des Flügelumrisses im wesentlichen auf regional ungleichmäßigen Änderungen der Zellgröße beruhen. Denkt man sich diese letzte in den verschiedenen Flügelregionen auf ihren normalen Wert gebracht, so nähert sich die Verlaufsweise des Flügelumrisses weitgehend der normalen. Die Betrachtung der Zellanzahlen bestätigt diesen Schluß. Nur bei k kommt eine regional begrenzte Änderung der Zellteilungstätigkeit hinzu, denn hier ist die Zellenanzahl in dem zweiten hinter dem Vorderrand verlaufenden Zwischenaderfeld selektiv herabgesetzt.

Berücksichtigt man nun das jeweilige Entwicklungsstadium, auf dem die besondere Entwicklungsweise dieser verschiedenen Größen- und Formtypen einsetzt, die sensiblen Perioden der Modifikationen und die phänokritischen Phasen der Mutanten, so ergeben sich bereits gewisse Folgerungen über die

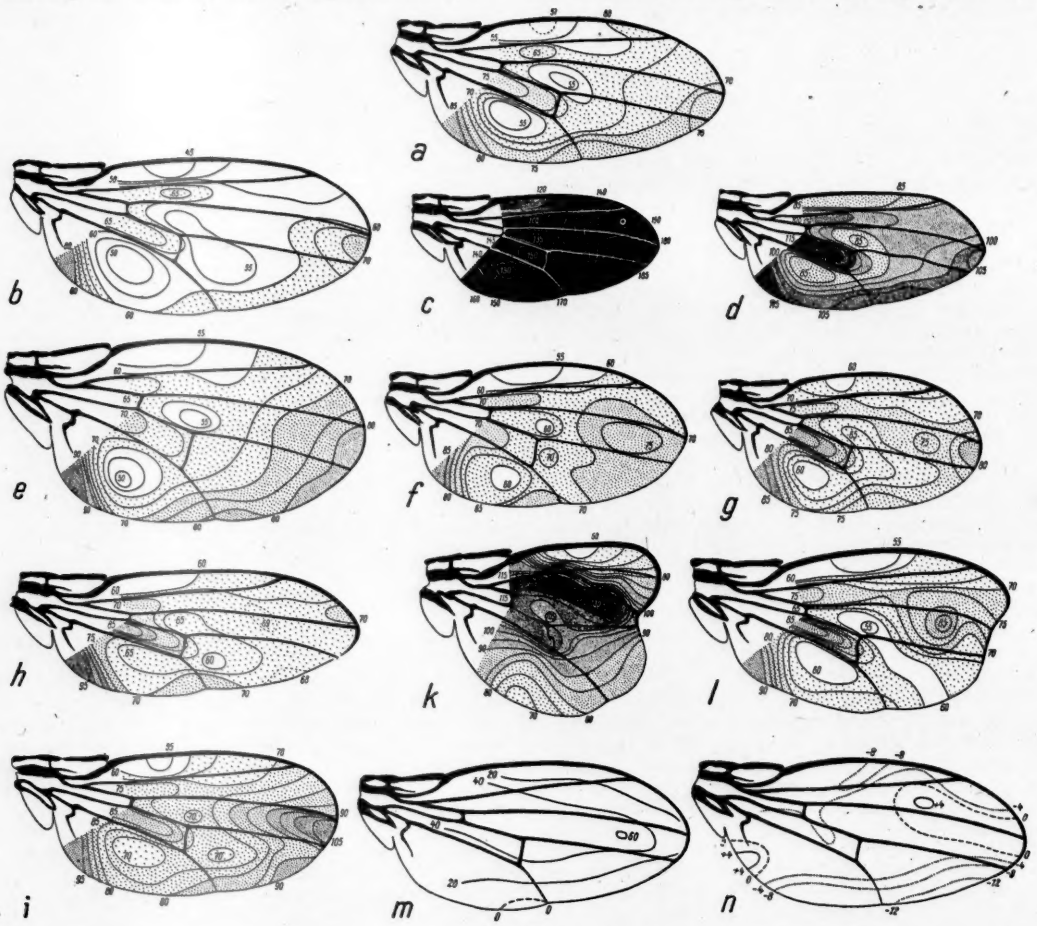


Fig. 12.
a Zelldichtebild der Oberseite des Normalflügels von *Drosophila*. Die eingetragenen Linien verbinden Punkte gleicher Zelldichte; die Ziffern geben die Zelldichtewerte (Zellenanzahlen auf 0,01 mm²) auf den Linien gleicher Zelldichte an. *b-l* dasselbe für Mutanten (mut.) und Hitzemodifikationen (mod.). *b* mut. *Va* (Venae *abnormes*, Aderbild eines Einzelflügels mit normalem Geäder); *c* mut. *m* (*miniature*); *d* mod. maßstabsgerecht verkleinert; *e* mut. *ex* (*expanded*); *f* mut. *br* (*broad*); *g* mod. 1. plumper Typus; *h* mod. 1. schlanker Typus; *i* mod. Spitze abgerundet; *k* mut *dp* (*dumpy*, Verlauf der hinteren Querader durch Pressung des unebenen Flügels verändert); *l* mod. abgestutzt. — *d*, *g*, *l* stellen verschiedene Fälle von Phänokopien nach den jeweils links daneben abgebildeten Mutanten dar. — *m*, *n* Verteilung der Differenzen zwischen den Zelldichten an entsprechenden Flügelpunkten bei mut. *dp* (*m*, vgl. *k*) bzw. mod. abgestutzt (*n*, vgl. *l*) und der Normalform (vgl. *a*). Die eingetragenen Linien verbinden hier die Punkte gleicher Zelldichteunterschiede; die Ziffern geben die Unterschiedswerte an. — Nach Untersuchungen von E. Schatz.

Bedeutung einzelner einfacher Grundvorgänge in der Entwicklung des Flügels für die Herstellung seiner Größe und Form und ihre Bedingungen.

Die beiden durch Hemmung der Zellteilungstätigkeit verkleinerten Flügel Fig. 12g und h werden jeweils durch Reizung zu Beginn einer der beiden Zellteilungsperioden oder kurz vorher ausgelöst (Fig. 11a, c). Offenbar wurde bei g die erste, bei h die zweite Mitosenperiode gestört. Dabei hat sich nun zugleich auch die Form verändert — sie ist bei g plumper, bei h schlanker als im Normalfall — und die Formänderung ist nur bei h und auch hier nur zum Teil auf Änderung der Zellform zurückzuführen. Bei dem plumpen Flügel müssen also in der Längsrichtung, bei dem schlanken in der Querrichtung des Flügels eingestellte Mitosen ausgefallen sein. Danach scheint es, als wäre die Einstellung der Teilungsfiguren in den beiden Mitosenperioden verschieden. Sind die Spindeln in der ersten Periode häufiger längs-, in der zweiten häufiger quergestellt als im Durchschnitt der gesamten Vorpuppen- und Puppenzeit, so braucht die Reizwirkung in beiden Fällen lediglich in einer gleichmäßigen Herabsetzung der gesamten Zellteilungstätigkeit während der betroffenen Mitosenperiode zu bestehen. Durch die Mutation *br* (*broad*, Fig. 12f) wird nun auch ein für die Einstellung der Teilungsspindeln maßgebender Erbfaktor erkennbar. Hier entsteht eine plumpe Flügelform bei normaler Anzahl und Form der Epithelzellen, und zwar, wie die Lage der phänokritischen Phase (Fig. 11 *br*) zeigt, während der ersten Mitosenperiode. Die Formänderung kann also nur durch eine Veränderung der durchschnittlichen Orientierung der Spindeln bedingt sein. Der Fall ist am einfachsten mit der Annahme zu erklären, daß die Mutation die Wirksamkeit eines Faktors herabsetzt, der die Teilungsspindeln während der ersten Mitosenperiode bevorzugt in die Längsrichtung des Flügels einstellt. Betrachtet man den Fall im Zusammenhang mit den beiden vorher erwähnten Modifikationen, so kann man an eine Abhängigkeit der Einstellung der Teilungsspindeln von einer in den beiden Mitosenperioden verschieden gerichteten oder auch nur verschieden ausgeprägten axialen Differenzierung des Plasmas denken.

In der Streckungs- und Faltungsperiode zeigt sich noch einmal ein zeitlicher Wechsel im Verhalten der Flügelanlage in ihrer Längs- und Querrichtung, der recht wohl auf einer Wiederholung eines gleichartigen Zustandswechsels ihres Plasmas beruhen könnte. Der Flügel wächst jetzt erheblich, und zwar, da die Zellteilungstätigkeit abklingt, im wesentlichen durch Zellvergrößerung, die anscheinend teilweise auf passiver Dehnung, im übrigen aber, wie aus der Auffaltung zu schließen ist, sicher auf aktivem Wachstum beruht. Diese Größenzunahme des Flügels betrifft nun zunächst bevorzugt die Längs-, dann die Querrichtung. Werden aufeinanderfolgende Phasen dieses Wachstums durch Temperaturreize gehemmt, so entstehen durchweg verkleinerte, dabei zunächst plumpe, dann vorübergehend normal proportionierte und zuletzt schlanke Flügel (Fig. 11 e-g). Die Auswertung des Zelldichtebildes (Fig. 12d) zeigt erwartungsgemäß, daß die Flächenverkleinerung hier nicht auf dem Ausfall von Epithelzellen, sondern auf einer gleichförmigen Abnahme ihrer Größe beruht. Neue, noch unveröffentlichte Untersuchungen von U. Völz haben ergeben, daß auch die Vergrößerung der beiden Flügellamellen in der Streckungs- und Faltungsperiode ungleichmäßig vor sich geht, und zwar eilt das Unterseitenepithel dem der Oberseite im Wachstum voraus. Damit werden nun auch die in dieser Zeit kurz nacheinander auftretenden Maxima der sensiblen Perioden zweier weiterer Hitzemodifikationen verständlich, von denen die erste abwärts-, die zweite aufwärtsgekrümmte Flügel aufweist (Fig. 13). Auch hier entspricht die zeitliche Folge der verschiedenartigen Reaktionen einer Abfolge verschiedener Phasen der Flügelvergrößerung, offenbar weil diese letzten nacheinander von der Hemmungswirkung des Temperaturreizes betroffen werden. Wie Fig. 13 zeigt, wird die Flügelspannung außer in der Streckungs- und Faltungsperiode auch noch in anderen Entwicklungsabschnitten modifiziert. Sie hängt also außer von den hier erfaßten auch noch von weiteren, zu verschiedenen Zeiten sensiblen Faktoren ab (15, 17).

Für die Gestaltung des Flügelumrisses ist, wie Waddington (18) zuerst gezeigt hat, die in der frühen Puppenzeit auftretende Kontraktionsphase von besonderer Bedeutung. In ihrem Verlauf tritt zugleich mit der Aderbildung die Einschnürung der Gelenkregion und die charakteristische Ausformung der Flügelspitze ein. Der Vorgang kann eine Reihe bemerkenswerter Abänderungen erfahren. Bei der Mutation *dp* (*dumpy*, Fig. 12k) ist zunächst, gleich nach der Ausstülpung, nur ein Zurückbleiben der Gesamtgröße der Anlage hinter der Norm erkennbar, dann tritt während der Kontraktionsphase der typische Umriß mit der eingezogenen Flügelspitze hervor (Fig. 11 *dp*). Temperaturreize haben um diese Zeit das Auftreten einer der Mutation ähnlichen, als „abgestutzt" bezeichneten Modifikation zur Folge (Fig. 11b, 12l), und die Prüfung der Entwicklungsweise der gereizten Tiere in noch unveröffentlichten Untersuchungen von Ma hat ergeben, daß auch hier die abnorme Formbildung auf einer Veränderung des Kontraktionsvorgangs beruht. Eine Analyse der Zelldichtebilder zeigt nun, wie diese letzte beschaffen ist. Bestimmt man die Differenzen der Zelldichten an jeweils einander entsprechenden Punkten des normalen und des abgeänderten Flügels, so lassen sich ganz entsprechend den Zelldichtebildern Diagramme für die Änderung der Zelldichte in den verschiedenen Flügelteilen entwerfen, welche die veränderte Auswirkung der Kontraktion widerspiegeln. Für den Einfluß der Mutation *dp* ergibt sich dabei ein überraschend einfaches Bild (Fig. 12m). Die Kontraktion ist nahezu auf der ganzen Flügelfläche gesteigert, und das Ausmaß der Steigerung nimmt von den Rändern in der Richtung auf eine den Flügel der Länge nach durchziehenden Zone gleichförmig zu. Das Maximum erreicht sie etwas basal der Spitze. Bei der Modifikation (Fig. 12n) ist das Gesamtbild der Verteilung verschiedener Abänderungsgrade der Kontraktionswirkung über den Flügel ähnlich, doch ist sie an den Rändern allgemein herabgesetzt, nähert sich dann mit der Annäherung an die Mittelzone dem normalen Ausmaß und erreicht schließlich, wiederum in einer mittleren Längszone des Flügels, ihr Maxi-

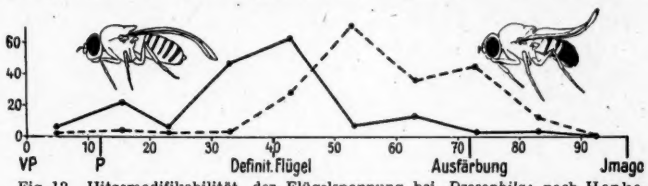


Fig. 13. Hitzemodifikabilität der Flügelspannung bei *Drosophila;* nach Henke, v. Finck und Ma, verändert. Abszisse: Reizaltersstufen in Stunden; *VP* Vorpuppe, *P* Puppe. Ordinate: Häufigkeit der Modifikationen in Prozent.

mum, wobei nun das normale Ausmaß wenigstens stellenweise überschritten wird. Das Bild würde wohl ebenso einfach wie bei der Mutation erscheinen, wenn die Sprünge von einer Schichtlinie zur anderen nicht wegen der relativen Geringfügigkeit des Effektes wesentlich kleiner wären als dort. Der Umstand, daß die auf den beiden verschiedenen Wegen entstandenen Abänderungen der Auswirkung der Kontraktion auf die Zellgröße verwandten einfachen Gesetzmäßigkeiten folgen, läßt vermuten, daß auch der Auswirkung des normalen Kontraktionsvorganges selbst ein einfaches Gesetz zugrunde liegt. In demselben Sinn sprechen die bisherigen Ergebnisse noch unabgeschlossener Untersuchungen über das Zelldichtebild auf verschiedenen Enwicklungsstadien des Puppenflügels. Jedenfalls ist es aufschlußreich zu sehen, wie gründlich sich der Charakter des Flügelumrisses auf Grund durchaus einfacher Abänderungen eines normalen Teilvorgangs seiner Entwicklung verändern kann.

Waddington hat gezeigt, daß die Auswirkung der Kontraktion durch einen gewissen Widerstand des in der Kontraktionsphase sich entwickelnden Geäders beeinflußt wird. Unter den hier betrachteten Modifikationen ist dieser Einfluß an dem schlankflügeligen Typus Fig. 12h zu demonstrieren, der unmittelbar nach dem abgestutzten Flügel während der Kontraktionsphase ausgelöst wird (Fig. 11c). Die Formänderung beruht hier nur zum Teil auf dem schon betrachteten Ausfall von quer zur Flügelachse orientierten Zellteilungen in der zweiten Mitosenperiode, im übrigen auf einer Änderung der Zellform. Wie diese letzte zustandekommt, ergibt sich aus der Feststellung von Ma, daß auch dieser Modifikationstypus bereits während der Kontraktionsphase von der Normalentwicklung abweicht, indem er schmaler wird als der Normalflügel. Hier wirkt sich offenbar die Kontraktion in abnormer Richtung aus, sie zieht den Flügel stärker als im Normalfall in der Querrichtung zusammen. Wenn sich nun auch hier, wie es nach Waddington für gewisse schlankflüglige Mutanten gilt, die Kontraktion gegenüber der Aderentwicklung verzögert, so wird sich der Widerstand der Vorderrandader gegen eine Auswirkung der Kontraktion in der Längsachse des Flügels verstärken, so daß sie sich mehr als im Normalfall in der Querrichtung auswirken muß.

Wenn schon der Zeitpunkt der Aderbildung für die Herstellung der normalen Flügelform von Bedeutung ist, so wird dasselbe von der Vollständigkeit und der richtigen Anordnung der Adern gelten. Eine Reihe von Anzeichen, die noch nicht näher analysiert sind, sprechen in demselben Sinn. So hat eine Unterbrechung der Queradern eine Verschmälerung des Flügels zur Folge, und dem entsprechend deuten die Gebiete geringer Zelldichte in der mittleren und hinteren Flügelregion, die bei fast allen Zelldichtebildern der Fig. 12 deutlich hervortreten, auf eine von den Queradern ausgeübte Spreizwirkung bei der Zusammenziehung der Gelenkregion. Auch bei der Sicherung der normalen ebenen Form des Flügels dürfte das Geäder nicht weniger als die richtige Abstimmung des Flächenwachstums in den beiden Flügellamellen beteiligt sein. Daß hierbei außerdem auch der Druck der Hämolymphe von Bedeutung ist, die nach dem Schlüpfen der Fliege in den Flügel einströmt, geht aus früheren Untersuchungen von Stern (22) an der Mutation *j* (*jaunty*) hervor. Es ist klar, daß von diesem Vorgang weiterhin besonders auch die Größe des Flügels abhängt. Offenbar spielt der Hämolymphedruck auch schon in verschiedenen Phasen der Puppenzeit durch Streckung der Flügelanlage eine wichtige Rolle.

Bei den Schmetterlingen tritt zu den bei *Drosophila* wirksamen Faktoren der Größen- und Formentwicklung des Flügels noch ein weiterer hinzu, der gleichfalls mit der Ausbildung des Geäders zusammenhängt. Die Lakune, aus der die Randader hervorgeht, bildet sich hier innerhalb der Fläche der Flügelanlage, und die außerhalb von ihr gelegenen Teile des Epithels gehen auf späteren Puppenstadien zugrunde (23, 1). Der Verlauf, in dem die Randlakune angelegt wird, ist also bei den Schmetterlingen ein für die Größe und Form des Flügels entscheidender Faktor. Bei der Mehlmotte ist eine Mutation *p* (*plumpflügelig*, Fig. 14) bekannt, welche die Flügel zugleich verkürzt und verbreitert, und hier ist nun, wie die entwick-

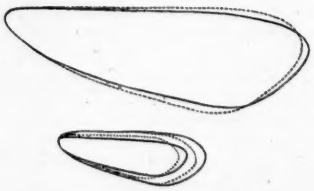


Fig. 14. Flügelumrisse auf verschiedenen Entwicklungsstadien bei der Wildform (————) und der Mutation *p*, plumpflügelig (.....) der *Mehlmotte*. Oben Falterflügel; darunter Flügelscheide der Puppenhülle mit Einzeichnung des erhalten bleibenden Teils des Puppenflügels. Bei dem letzten ist der Breitenunterschied zwischen Wildform und Mutante übertrieben.

lungsgeschichtliche Untersuchung ergab, der Verlauf der Randlakune innerhalb der Flügelanlage verändert (24). Die Flügel der jungen Puppe sind gegenüber der Norm verkürzt, dabei aber keinesfalls verbreitert, während anderseits das von der Randlakune umgrenzte definitive Flügelfeld schon auf diesem Stadium zugleich kürzer und breiter ist als beim Normalflügel. Das Ergebnis wurde schon früher an einem kleinen Material festgestellt und neuerdings durch umfangreichere, von Frau A. Plagge durchgeführte Messungen bestätigt. Es beweist, daß das Gen *p* außer auf das Wachstum der Flügelanlage und jedenfalls in gewissem Grad unabhängig hiervon auch direkt auf die Ausmaße des definitiven Flügelfeldes einwirkt. Hinsichtlich der schließlich erreichten Proportionen des fertigen Flügels liegen beide Wirkungen zwar in gleichem Sinn, sie betreffen aber offenbar ganz verschiedene Prozesse. Trotzdem muß das Gen wohl nicht notwendig unmittelbar zwei durchaus voneinander unabhängige Wirkungen ausüben. Es liegt nahe, auch hier wieder an die Möglichkeit einer genabhängien axialen Differenzierung des Plasmas zu denken, welche ihrerseits recht wohl nebeneinander das Wachstum der Flügelanlage und die Maßverhältnisse des in ihrem Bereich ausgeschnittenen Feldes beeinflussen könnte.

Im ganzen betrachtet, läßt sich also die Größen- und Formentwicklung des Insektenflügels auf eine begrenzte Anzahl von Zellvorgängen — Teilung, aktives Wachstum, passive Dehnung, Kontraktion und Zelldegeneration — zurückführen, welche durch eine sehr heterogene Gruppe von Bedingungsfaktoren nach Intensität, räumlicher Ausrichtung und regionaler Verteilung bestimmt oder auch überhaupt erst ermöglicht werden. Für die entwicklungsphysiologische Analyse stellt jeder dieser Bedingungsfaktoren, wie axiale und regionale Differenzierung des Plasmas, Aderbildung, einsetzender Hämolymphedruck wieder seine eigenen Aufgaben. Auch die Genwirkungen sind hierher zu rechnen. Wie unter der Wirkung der Bedingungsfaktoren die ausführenden Zellvorgänge, sich gegenseitig ergänzend,

etwa die Größe und die Anzahl der Zellen, die Länge und die Breite des Flügels, die Ausdehnung seiner oberen und seiner unteren Lamelle schrittweise dem Endzustand annähern oder auch, einander entgegenwirkend, den Flügel bald vergrößern, bald wieder verkleinern, geben sie ein anschauliches Bild von der Vielseitigkeit des Geschehens, durch das selbst ein verhältnismäßig einfaches Merkmal zustandekommt.

Unter den hier als Hilfsmittel der Analyse benutzten Größen- und Formvarianten des *Drosophila*-Flügels ähneln einzelne Modifikationen mehr oder weniger weitgehend bestimmten Mutanten. Eine solche Modifikation bezeichnet man mit Goldschmidt (19) als Phänokopie der Mutante, deren Phänotypus sie nachbildet. Will man die hier vorliegende Erscheinung, daß äußere Einflüsse ähnliche Wirkungen wie Mutationen ausüben können, entwicklungsphysiologisch verwerten, so muß in erster Linie geprüft werden, wie weit die Übereinstimmung zwischen Mutante und Phänokopie im einzelnen Fall tatsächlich geht.

Von einer echten und vollständigen Phänokopie kann man sprechen, wenn sowohl der Endzustand in allen Einzelmerkmalen wie auch der Entwicklungsverlauf in beiden Fällen der gleiche ist. Liegt die phänokritische Phase einer Mutation früher als die sensible Periode für eine ähnliche Modifikation, so ist eine vollständige Übereinstimmung im Entwicklungsverlauf bereits ausgeschlossen. Fallen beide zusammen oder liegt die phänokritische Phase später, so ist wenigstens die Möglichkeit eines übereinstimmenden Entwicklungsganges gegeben, aber es ist anderseits natürlich noch nicht ausgeschlossen, daß die Mutante in einer äußerlich nicht nachweisbaren Weise schon vor der sensiblen Periode der verglichenen Modifikation von der normalen Entwicklung abweicht. Am ehesten wird man mit vollständigen und echten Phänokopien in solchen Fällen rechnen können, in denen die sensible Periode sehr früh liegt und die Übereinstimmung von Modifikationen und Mutanten sich über eine größere Anzahl verschiedenartiger Merkmale erstreckt. Als Beispiel kann eine bei *Drosophila* nach Reizung auf einem frühen Stadium der Embryonalentwicklung auftretende Modifikation dienen, bei der ganz so wie bei den Mutationen *bx* (*bithorax*) und *tr* (*tetraptera*) die Schwingkölbchen des dritten Thoraxsegmentes sich zu flügelähnlichen Gebilden entwickeln und der Metathorax zugleich noch eine Reihe weiterer dem Mesothorax eigener Merkmale annimmt (25).

Wenn die Abweichung der Entwicklungsweise einer Modifikation von der Norm die einer bestimmten Mutation nur teilweise nachbildet, kann man von echten Teilphänokopien sprechen und je nach den besonderen Verhältnissen zwischen quantitativ und qualitativ partiellen echten Phänokopien unterscheiden. Die erste Möglichkeit scheint bei den in der Streckungs- und Faltungsperiode auslösbaren maßstabsgerecht verkleinerten Flügeln vorzuliegen (Fig. 11f, 12d). Hier ist im Unterschied zu anderen kleinflügeligen Modifikationen nicht die Anzahl, sondern die Größe der Zellen herabgesetzt, ähnlich aber in wesentlich geringerem Grad wie bei der Mutante *m* (*miniature*, Fig. 11m, 12c). Die phänokritische Phase der Mutante liegt schon in der Vorpuppenzeit, doch nimmt nach Waddington's Befund der Größenunterschied gegenüber der Wildform im Lauf der Puppenentwicklung noch zu. Es ist nicht unwahrscheinlich, daß die Hemmung der Größenzunahme der Zellen auf verschiedenen Entwicklungsstadien der Mutante und ebenso auch bei der Modifikation stets auf dieselbe Weise, nämlich durch Abschwächung einer passiven Dehnung des Flügelepithels zustandekommt. Es handelt sich dann hier um eine quantitativ partielle echte Phänokopie. Bei der Mutation *dp* (*dumpy*, Fig. 11 dp, 12k) und den in der Kontraktionsphase auslösbaren abgestutzten Flügeln (Fig. 11b, 12l) liegen die Verhältnisse insofern ähnlich, als auch hier die sensible Periode der Modifikation später liegt als die phänokritische Phase der Mutation. Der von der Modifikation nachgebildete Teil der Abweichung der Mutante von der normalen Entwicklung, der abnorme Verlauf der Kontraktion, welcher die charakteristische Veränderung des Flügelumrisses hervorruft, ist aber hier qualitativ verschieden von dem schon vorher, gegen Ende der 1. Mitosenperiode, zuerst sichtbaren Unterschied zwischen Mutante und Normalform, denn dieser letzte betrifft lediglich die Größe der Flügelanlage. Hier liegt also eine qualitativ partielle echte Phänokopie vor.

Vergleicht man schließlich die Mutation *broad* (Fig. 11 *br*, 12f) und den 1. plumpflügeligen Modifikationstypus (Fig. 11a, 12g), so könnte man nach dem allgemeinen Formeindruck des Flügels und auch nach dem Verhältnis von phänokritischer Phase und sensibler Periode recht wohl eine echte Phänokopie vermuten. Die genauere Untersuchung der fertigen Zustände zeigte aber, daß die plumpe Flügelform bei der Mutation nur durch eine veränderte Orientierung der Zellteilungen in der 1. Mitosenperiode bedingt sein kann, während andererseits die Modifikation am einfachsten mit der Annahme zu erklären war, daß die Zellteilungen in dieser Zeit häufiger als in der später folgenden 2. Mitosenperiode in der Längsrichtung des Flügels eingestellt sind und der Reiz lediglich eine gleichmäßige Herabsetzung der Zellteilungstätigkeit in der unmittelbar von ihm betroffenen 1. Periode bewirkt. Trifft diese Deutung zu, so handelt es sich um eine typische falsche Phänokopie, weil die gleiche Flügelformänderung in beiden Fällen auf ganz verschiedene Weise zustandekommt. Es ist freilich nicht ausgeschlossen, daß der Temperaturreiz außer der Herabsetzung der Zellteilungstätigkeit gleichfalls eine Umorientierung der Mitosen bewirkt. Bei der Kleinheit der Zellen in der Flügelanlage von *Drosophila* ist es bisher leider nicht gelungen, über die Orientierung der Mitosen quantitative Angaben zu erhalten.

Wie bei der Größe und Form des Drosophilaflügels ist auch bei seinen strukturellen Differenzierungen (15, 17), bei der Schmetterlingszeichnung (26, 27) und bei vielen anderen Merkmalen mit dem Auftreten echter Phänokopien bestimmter Mutationen nach Hitzereizung zu rechnen. Nun wird man annehmen müssen, daß die Wirkungen des Hitzereizes auf verschiedenen Altersstufen grundsätzlich dieselben sind. Da sie aber sehr verschiedene Entwicklungsprozesse betreffen können, müssen sie wenig spezifisch sein. Dem entspricht es, daß vielfach die gleichen Modifikationen wie durch Hitzereize auch durch andere Einflüsse, wie Temperaturerniedrigung, Bestrahlung oder chemische Einwirkungen, ausgelöst werden. Da nun viele Modifikationen echte Phänokopien darstellen, ergibt sich die Folgerung, daß auch die durch Mutationen bewirkten Änderungen der normalen Entwicklung in vielen Fällen untereinander gleichartig und unspezifischer Natur sind. So hat denn auch Goldschmidt (28) das Vorkommen von Phänokopien darauf zurückgeführt, daß Außenreiz und Mutation gleichermaßen an der Geschwindigkeit bestimmter Entwicklungsabläufe angreifen, und es als Stütze seiner Theorie der abgestimmten Reaktionsgeschwin-

digkeiten benutzt. Eine Reihe der hier näher untersuchten Varianten des Drosophilaflügels ließ unmittelbar auf eine einfache Hemmung oder Förderung sehr allgemeiner Entwicklungsprozesse, wie Zellteilung oder Zellvergrößerung schließen. In anderen Fällen war wohl mit einer Beeinflussung mehr oder weniger spezifisch wirkender Entwicklungsfaktoren zu rechnen, von denen etwa die Orientierung der Mitosen in der Flügelanlage oder die regionale Ungleichmäßigkeit der Zellkontraktion abhängt, aber auch hier genügte die Vorstellung einer einfachen Abschwächung oder Steigerung ihrer Wirksamkeit. Daß derartige rein quantitative Abänderungen einzelner Entwicklungsprozesse oder -faktoren gleichermaßen durch Mutationen und verschiedenartige Außenreize bewirkt werden können, ist verständlich. Man könnte versucht sein, weitere Folgerungen über die Natur des Mutationsprozesses zu ziehen und auch den Unterschied zwischen normalem und mutantem Gen in den in Betracht kommenden Fällen als rein quantitativer Natur zu betrachten. Ein solcher Schluß ist jedoch kaum gerechtfertigt, denn auch ein qualitativ verändertes Gen kann sehr wohl die gleichen und nur in ihrer Stärke veränderten Wirkungen wie das normale Allel ausüben.

Eingegangen am 11. September 1947.

Literatur

(1) Köhler, W., Z. Morph. Ökol. Tiere, **24**, 582 (1932). — (15) Henke, K., Fink, E. v., und Ma, S. Y., Z. ind. Abst.-Vererbungslehre **79**, 267 (1941). — (17) Ma, S. Y., Roux'Archiv **142**, 508 (1943). — (18) Waddington, C. H., Proc. Nat. Acad. Sci. USA. **25**, 299 (1939). — J. Genet. **41**, 75 (1940). — (19) Goldschmidt, R., Z. ind. Abst.-Vererbungslehre **69**, 38 (1935). — (20) Buchmann, W., und Timoféeff-Ressovsky, N. W., Z. ind. Abst.-Vererbungslehre **74**, 504 (1938). — (21) Henke, K., Schatz, E. und Schwenk, H., Nachr. Akad. Wiss. Göttingen Math.-Phys. Kl. **1946**, 5 — (22) Stern, C., Biol. Zbl. **47**, 361 (1927). — (23) Süffert, F., Z. Morph. Ökol. Tiere, **14**, 338 (1929). — (24) Henke, K., Biol. Zbl. **57**, 449 (1937). — (25) Henke, K. und Maas, H., Nachr. Akad. Wiss. Göttingen, Math.-Phys. Kl. **1946**, 3. — Maas, H., Diss. Göttingen (1946). — (26) Kühn, A., und Henke, K., Genetische und entwicklungsphysiologische Untersuchungen an der Mehlmotte Ephestia kühniella Zeller. XIII, XIV. Abhdl. Ges. Wiss. Göttingen, Math.-Phys. Kl. N. F. **15** (1936). — (27. Kühn, A., und Engelhardt, M. v., Biol. Zbl. **64**, 24 (1944). — (28) Goldschmidt, R., Die quantitative Grundlage von Vererbung und Artbildung. Berlin (1920). — Physiologische Theorie der Vererbung. Berlin (1927).

Kurze Originalmitteilungen.

Eine Erweiterung der Theorie der Supraleitung.

Die Mehrzahl der zur Supraleitung befähigten Metalle kristallisiert nach bisheriger Kenntnis in einem anderen als dem kubischen System. Trotzdem begnügte sich die Londonsche Theorie mit einer als Skalar aufgefaßten Supraleitungskonstanten λ, welche in den Grundgleichungen als Faktor der Dichte des Suprastroms auftritt. Neuere Erfahrungen an nichtkubischen Supraleitern scheinen nun auf die Notwendigkeit einer Verallgemeinerung hinzuweisen. Um nämlich zu erklären, warum die Eindringtiefe des Magnetfeldes an kristallographisch verschiedenen Grenzflächen verschieden ist, liegt es nahe, λ als einen symmetrischen Tensor hinzustellen und das Produkt $(\lambda\,\mathfrak{J})$ schon in den Grundgleichungen zu ersetzen durch einen Vektor mit den Komponenten

$$(\lambda\,\mathfrak{J})_i = \sum \lambda_{ik}\,\mathfrak{J}_k\,. \qquad (1)$$

Die bisherige Theorie hatte im wesentlichen drei große Leistungen aufzuweisen:

1. die Erklärung der Dauerströme,
2. die Theorie des Meissnereffektes,
3. die Erklärung, warum der Mechanismus der Supraleitung die Kräfte, welche ein magnetisches Feld auf ihn ausübt, nicht auf die eigentliche Materie, d. h. die Atomrümpfe im Metall, überträgt. Sie konnte dies durch die Einführung der mit dem Suprastrom verknüpften Londonschen Spannungen erreichen.

Es fragt sich, ob die verallgemeinerte Theorie derselben Leistungen fähig ist.

1. In der Überlegung, welche von den Grundgleichungen zur Theorie der Dauerströme führt, kommt in der bisherigen Form stets nur das Produkt $(\lambda\,\mathfrak{J})$ vor, es bleibt auch unzerlegt. Diese Theorie läßt sich also ohne weiteres übertragen, sobald man $(\lambda\,\mathfrak{J})$, nach Gl. 1), als Produkt eines Tensors mit einem Vektor betrachtet.

2. Beim Meissnereffekt ergibt sich die Änderung, daß das Abklingen des Magnetfeldes und des Strömungsfeldes nicht mehr nach einer Exponentialfunktion erfolgt, sondern durch die Summe von zwei solchen Funktionen mit verschiedenen, von der kristallographischen Lage der Grenzfläche abhängigen Exponenten dargestellt wird. Die bisherige Definition der Eindringtiefe wird dadurch zwar unbrauchbar. Aber es bleibt, daß an der Grenzfläche eines Supraleiters eine dünne Schutzschicht besteht, welche das Innere vor dem Feld bewahrt.

3. Auch bei der Verallgemeinerung läßt sich ein Spannungstensor angeben, der im stationären Fall die Kräfte des Magnetfeldes genau kompensiert. Nur ist dieser Tensor nicht mehr symmetrisch. Aus der Differenz zweier Komponenten mit vertauschten Indices ergibt sich aber bekanntlich ein Drehmoment pro Volumeneinheit, welchem ein entgegengesetzt gleiches Drehmoment auf den Mechanismus der Supraleitung entsprechen muß.

Dieses zunächst befremdliche Ergebnis erweist sich jedoch als unbedingt notwendig, sobald man beachtet, daß der Impuls der Supraströmung, welcher durch $\varrho\,(\lambda\,\mathfrak{J})$ gegeben ist (ϱ ist die Raumdichte der Supraleitungselektronen), jetzt im allgemeinen nicht mehr die Richtung der Strömung hat. Aus der Hydrodynamik (Bewegung eines starren Körpers in einer Flüssigkeit) oder der Dynamik der Relativitätstheorie ist nun bekannt, daß ein Körper, dessen Impuls $\mathfrak{G}$ nicht in die Richtung der Geschwindigkeit $\mathfrak{v}$ fällt, zu rein translatorischer Bewegung eines Drehmomentes $[\mathfrak{v}\,\mathfrak{G}]$ bedarf. Ein solcher Fall liegt hier vor. Das nach dem Drehimpulssatz für die stationäre Supraströmung pro Volumeneinheit erforderliche Drehmoment beträgt $[\mathfrak{J}, (\lambda\,\mathfrak{J})]$ und gerade diesen Wert ergibt auch die Differenz jener Tensorkomponenten.

Unverändert bleibt die Thermodynamik des Übergangs vom Normal- zum Supraleiter, wenigstens für dicke Leiter mit voll ausgebildeten Schutzschichten. Das folgt allein daraus, daß sich eine solche Schicht unverändert verschiebt, wenn die Grenzfläche zwischen beiden Phasen eine Verrückung erleidet, und daß auf der einen Seite das Magnetfeld den Maxwellschen Druck $\frac{1}{2}\,H^2$ ausübt, während auf der anderen Seite der Schicht kein Feld, also auch kein solcher Druck herrscht. Hier kommt es auf das λ gar nicht an, auch nicht darauf, ob dies ein Skalar oder ein Tensor ist.

Ausführlichere Veröffentlichung ist in den Annalen der Physik vorgesehen.

Max-Planck-Institut für Physik
Göttingen, im Oktober 1947.

M. v. Laue.

Eingegangen am 21. Oktober 1947.

Unelastische Streuung und diskrete Geschwindigkeitsverluste schneller Elektronen.

Für die unelastische Streuung schneller Elektronen wurde kürzlich[1]) eine Formel entwickelt, die auch bei extrem kleinen Winkeln ϑ der Streuung gültig ist. Es wurde dabei angenommen, daß mit überwiegender Wahrscheinlichkeit Energieverluste ΔU eintreten, die der Anregung der Resonanzlinie entsprechen, wofür man mit praktisch recht guter Annäherung schreiben kann

$$\Delta U = \frac{I}{2} \tag{1}$$

Darin ist I die Ionisierungsenergie in Volt. Die von N_0 ankommenden Elektronen in das um den Winkel ϑ gegen die Einfallsrichtung geneigte Raumwinkelelement $d\Omega$ gestreute Anzahl dN der Elektronen ist gegeben durch

$$\frac{1}{N_0}\frac{dN}{d\Omega} = 0{,}820 \cdot 10^6 \frac{\mathrm{cm}^2}{\mathrm{g}} \frac{\gamma x}{A Z^{\frac{5}{3}}} \frac{G(v)}{v^2(v+v^*)} \tag{2}$$

Darin bedeutet γx die Massendicke, A das Atomgewicht und Z die Ordnungszahl der streuenden Substanz; v ist eine von ϑ abhängige Variable und v^* eine Konstante.

$$v = \frac{1{,}105 \cdot 10^{-8}\,\mathrm{cm}}{\lambda Z^{\frac{2}{3}}} \sqrt{\left(\frac{I}{4U}\right)^2 + \vartheta^2} \tag{3}$$

$$v^* = \frac{16.8 \cdot 10^{-7}\,\mathrm{cm}^3}{|\chi_{\mathrm{mol}}|\, Z^{\frac{1}{3}}}. \tag{4}$$

λ ist die de Broglie-Wellenlänge und U die Voltgeschwindigkeit der auftreffenden Elektronen. χ_{mol} ist die diemagnetische Suszeptibilität des durchsetzten Stoffs. $G(v)$ ist eine nach Heisenberg[2]) von Bewilogua[3]) berechnete und tabellierte Funktion, die für die unelastische Streuung der Elektronen bei größeren Winkeln maßgebend ist. Diese Formeln sind gültig für nichtmetallische Substanzen. Bei Metallen kann man damit nur die Streuung an den Elektronen der Ionenrümpfe berechnen, wozu man dann ein entsprechend vermindertes Z und die Suszeptibilität der Metallionen einzusetzen hat.

Die Theorie läßt sich prüfen an den Experimentalergebnissen von Ruthemann[4]), mit denen dieser erstmalig diskrete Geschwindigkeitsverluste an gestreuten Elektronen feststellte. Er fand bei Aluminium einer Dicke von etwa 300 Å ($\gamma x = 8{,}1 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{g/cm}^2$) und Elektronen von $U = 5300$ V Geschwindigkeit sehr scharfe Verzögerungen um $\Delta U = 16{,}4$ V und um Mehrfache dieses Wertes. Die Intensität in dem mitgeteilten Spektrogramm läßt sich zwanglos aufteilen in ein Kontinuum, das der Streuung an den Leitungselektronen zuzurechnen ist und bei ungefähr $\Delta U = 50$ V sein Maximum hat, und in ein Linienspektrum, das durch die Streuung an den Ionenrümpfen hervorgerufen ist. Aus der relativen Intensität der sich bei nullfach, einfach, zweifach, dreifach und vierfach verzögerten Elektronen ergebenden Maxima kann man entnehmen, daß die mittlere Gesamtzahl N_{ges}/N_0 der unelastischen Streuakte, die jedes Elektron erlitten hat, zwischen 1,52 und 1,88 gelegen hat; am besten paßt sich der Wert von 1,62 ein.

Theoretisch kommt man zur gleichen Größe wie folgt: Man betrachtet im Einklang mit der entwickelten Theorie nur die Streuung an den Elektronen der Ionenrümpfe, so daß man unter Nichtberücksichtigung der Streuung an den Leitungselektronen in (2) und (4) die Werte für das $Al^{\cdots}$ einsetzt: $Z = 10$; $A = 27{,}0$; $\chi_{\mathrm{mol}} = -2{,}28 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{cm}^3$; $\gamma x = 8{,}1 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{g/cm}^2$. Ferner schreibt man $U = 5300$ V und $\lambda = 16{,}8 \cdot 10^{-10}$ cm. Für I setzt man folgerichtig $2 \cdot \Delta U = 32{,}8$ V. Danach läßt sich die Streuverteilung der Intensität nach (2) berechnen und numerisch integrieren. Man findet daraus $N_{\mathrm{ges}}/N_0 = 1{,}69$. Dieser Wert steht in ausgezeichneter Übereinstimmung mit dem oben erwähnten experimentellen Wert von $N_{\mathrm{ges}}/N_0 = 1{,}62$. Wir betrachten dieses Ergebnis als Stütze der Theorie. Insbesondere schließen wir aus dem Verlauf der Kurve im Ruthemannschen Spektrogramm auch auf die Zulässigkeit unseres Ansatzes, daß die der Resonanzlinie entsprechende Verzögerung wegen ihrer überwiegenden Häufigkeit praktisch allein für das entstehende Streubild maßgebend ist.

Göttingen, Laboratorium für Elektronenoptik der Siemens & Halske A.G. und Max-Planck-Institut für Physik.

Bodo v. Borries, Heinz Koppe.

Eingegangen am 21. Oktober 1947.

[1]) Koppe, H., Z. f. Phys., im Druck.
[2]) Heisenberg, W., Phys. Z. 32, 739 (1931).
[3]) Bewilogua, L., Phys. Z. 32, 740 (1931).
[4]) Ruthemann, G., Naturwiss. 29, S. 648 (1941).

Zur Frage der Einwirkung elektrischer Felder auf den Wärmeübergang in Gasen.

Die Tatsache, daß starke inhomogene elektrische Felder den Wärmeübergang in Gasen erheblich beeinflussen, läßt sich, wie früher gezeigt wurde (Zs. f. Phys. 102, 480, 1936), auf Einwirkung der Elektrostriktion zurückführen. Beobachtet man den Wärmeübergang zwischen koaxialen Zylindern, von denen der innere (ein dünner Draht) elektrisch geheizt wird, so bedingen die im Gas auftretenden Temperaturdifferenzen einerseits eine Strömung des Gases und damit eine Wärmekonvektion; anderseits entspricht ihnen, wenn zwischen den Zylindern ein elektrisches Feld liegt, eine verschieden starke Elektrostriktion. Diese wiederum verändert die Strömung und damit den durch diese verursachten Wärmetransport im Sinne einer erhöhten Abfuhr von Wärme. Änderungen des Wärmeleitvermögens im elektrischen Felde spielen, wenn überhaupt vorhanden, eine zu vernachlässigende Rolle. Diese bereits in der zitierten Arbeit angedeuteten Überlegungen wurden in den letzten Jahren weitergeführt und experimentell an einer größeren Reihe von Gasen mit und ohne Dipol geprüft.

Zunächst erwies es sich als notwendig, Untersuchungen darüber anzustellen, wie die Wärmetransportverhältnisse ohne elektrisches Feld bei der vorliegenden geometrischen Anordnung beschaffen sind. Hierdurch erhält man eine Grundlage für die weitere theoretische Behandlung der Einwirkung elektrischer Felder. — Darüber hinaus war es möglich, wie an anderer Stelle berichtet werden wird, aus den rein thermischen Untersuchungen eine Methode zu entwickeln, die es gestattet, mechanische und thermische Konstanten der Gase (spez. Wärme c_p, innere Reibung η, Wärmeleitvermögen λ) in relativ einfacher Weise zu bestimmen.

Durch die Kenntnis der erwähnten thermischen Verhältnisse wird die Einwirkung der Elektrostriktion quantitativ faßbar. — Für die pro Zeiteinheit durch ein elektrisches Feld $\mathfrak{E}$ vom inneren Zylinder abgeführte Energie erhält man folgende Gleichung, in der die geometrischen Größen in den Konstanten A und B zusammengefaßt sind:

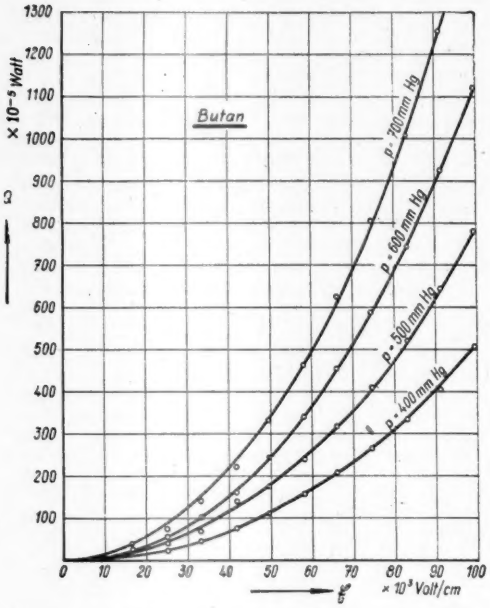
$$Q = A \cdot \frac{C_p \Delta T^2 \left(\alpha + \frac{2\mu^2}{3kT}\right)}{T^3 \eta} \mathfrak{E}^2 p^2 \left[1 + B \frac{\Delta T \left(\alpha + \frac{2\mu^2}{3kT}\right)}{T^2 \eta} \mathfrak{E}^2 p + \cdots\right] \tag{1a}$$

Hierin bedeuten: p den Druck, T die Temperatur, ΔT die Temperaturdifferenz zwischen den Zylindern, C_p die Molekularwärme, α die Polarisierbarkeit, μ das Dipolmoment und k die Boltzmannsche Konstante.

Für dipolfreie Gase ist $\mu = 0$. In diesem Falle sind die Werte von Q wesentlich kleiner als in Dipolgasen; außerdem wird das zweite Glied in der Klammer gegenüber der 1 so klein, daß es im allgemeinen nicht bemerkbar ist. Es gilt also für Gase ohne Dipol:

$$Q = A \cdot \frac{C_p \, 1 T^2 a}{T^3 \eta} \mathfrak{E}^2 p^2 \qquad (1b)$$

Zur Durchführung der Versuche ist die in der früheren Arbeit beschriebene Versuchsanordnung in einigen Punkten verbessert worden. Gemessen wurde die Abhängigkeit der Größe Q von Druck und Feldstärke. Es ergaben sich Kurven von der in der Figur wiedergegebenen Art.



Abhängigkeit der durch das elektrische Feld abgeführten Energie von der Feldstärke.

Die gemessenen Kurven können in jedem Falle durch folgende Gleichungen approximiert werden:

Für Dipolgase:

$$Q = a \mathfrak{E}^2 p^2 + b' \mathfrak{E}^4 p^3 = a \mathfrak{E}^2 p^2 [1 + b \mathfrak{E}^2 p] \qquad (2a)$$

Für dipolfreie Gase:

$$Q = a \mathfrak{E}^2 p^2 + c' \mathfrak{E}^4 p^3 = a \mathfrak{E}^2 p^2 [1 + c \mathfrak{E}^2] \qquad (2b)$$

Bemerkt sei, daß die Messungen so genau sind, daß die Werte der Potenzen von $\mathfrak{E}$ und p eindeutig festgelegt werden können.

Ein Vergleich von (1a) und (2a) ergibt, daß die durch die Überlegungen geforderten Abhängigkeiten von $\mathfrak{E}$ und p genau erfüllt sind.

Bei dipolfreien Gasen zeigt der Vergleich von (1b) und (2b), daß die in (1b) geforderte Abhängigkeit erfüllt ist, daß aber darüber hinaus ein kleines Glied mit $c \mathfrak{E}^2$ auftritt. Dies ist möglicherweise in (2a) auch vorhanden, nur kann es gegenüber dem überwiegenden Wert von $b \mathfrak{E}^2 p$ nicht merkbar werden. — Eine Deutung dieses Zusatzgliedes ist aus den bisherigen Überlegungen nicht möglich. Ob sich hier ein Hinweis zeigt, daß die lineare Beziehung zwischen induziertem Moment und Feldstärke ($\mu_i = \alpha \mathfrak{E}$) nicht ausreicht, sondern durch höhere Potenzen ergänzt werden muß, bedarf weiterer Untersuchungen.

Aus (1a) und (2a) folgt:

$$a = A \frac{C_p \, 1 T^2}{T^3 \eta} \left(\alpha + \frac{2 \mu^2}{3 k T} \right) \qquad (3)$$

und

$$b = B \frac{1 T}{T^2 \eta} \left(\alpha + \frac{2 \mu^2}{3 k T} \right) \qquad (4)$$

Entsprechend ist nach (1b) und (2b) für dipolfreie Gase:

$$a = A \frac{C_p \, 1 T^2}{T^3 \eta} \alpha \qquad (3a)$$

Die Messungen lassen sich an einem Gase, dessen thermische und elektrische Konstanten gut festliegen, durchführen. Sie ergeben a und b und gestatten, aus (3), (3a) und (4) die Konstanten A und B zu bestimmen.

Aus den Messungen an anderen Gasen folgen dann, bei Benutzung der Literaturangaben für C_p und η, für die Polarisation bzw. das elektrische Moment und die Dielektrizitätskonstante die in der Tabelle zusammengestellten Werte.

Gas:	α-gem.	α-berechnet aus: D.K.	α-berechnet aus: Brechungs-Quotient	μ-gem.	μ-Tabellen	ε-gem.	ε-Tabellen
Luft	1,74	1,74	1,74	0	0	1,00059	1,00057
CO_2	2,63	2,7	2,6	0	0	1,0009	1,00095
C_2H_2	3,55	3,5	3,44	0	0	1,0012	1,0012
C_2H_6	4,34	4,15	4,4	0	0	1,0015	1,0014
C_3H_8	6,12	5,75	6,36	0	0	1,00208	1,00196
C_4H_{10}	7,86	7,45	7,18	0	0	1,00268	1,00262
C_4H_8 -β	7,75	7,7	7,18	0	0	1,00264	1,00271
C_2H_5Cl	—	—	6,95	1,995	2,02	1,0145	1,0147
CH_2Cl_2	—	—	5,00	1,61	1,57	1,00985	1,0094
$(C_2H_5)_2O$	—	—	8,80	1,125	1,15	1,007	1,007
C_4H_8 -α	—	—	7,15	0,48	0,4	1,00314	1,00296

Die gute Übereinstimmung der gefundenen und aus der Literatur entnommenen Werte zeigt, daß die ausgeführten Überlegungen die experimentellen Tatsachen in jeder Hinsicht deuten, und daß man es hier mit einer Methode zu tun hat, um Polarisierbarkeit, Dipolmoment bzw. D.K. sehr exakt und relativ einfach zu bestimmen.

Aus (3) und (4) folgt ohne weiteres:

$$\frac{a}{b} = \frac{A}{B} \frac{1T}{T} C_p \qquad (5)$$

Betrachtet man zwei Gase (1 und 2) unter gleichen Temperaturverhältnissen, so folgt aus (5), daß

$$C_{p1} : C_{p2} = \left(\frac{a}{b}\right)_1 : \left(\frac{a}{b}\right)_2$$

sein muß, daß sich also die Molekularwärmen zweier Gase wie die Quotienten aus den Konstanten a und b verhalten müssen, eine Beziehung, die bei einer Reihe von Dipolgasen tatsächlich gefunden wurde.

Alle bisher besprochenen Ergebnisse wurden bei Horizontalstellung des Zylinderkondensators erhalten. Untersuchungen in der Vertikalstellung zeigten, daß ein Einfluß des Feldes auf den Wärmestrom auch in diesem Falle vorhanden ist. Die experimentell gefundenen Gesetzmäßigkeiten sind aber wesentlich komplizierter und bedürfen noch weiterer Klärung.

Eine kürzlich in Zs. f. Naturf. 2, 297, 1947 erschienene Arbeit von E. W. Becker beschäftigt sich mit dem Wärmeübergang in elektrischen Feldern bei dipolfreien Gasen (CO_2 und N_2). Auch hier führt die Deutung des Wärmetransportes durch Elektrostriktion zu quantitativ richtigen Ergebnissen. Zwar lassen sich die mit einer eleganten Nullmethode gefundenen Resultate nicht direkt mit den unsrigen vergleichen; aber die angegebenen Werte des Effektes liegen durchaus in der nach unseren Überlegungen zu erwartenden Größenordnung, wenn man die extrem verschiedenen Versuchsbedingungen berücksichtigt.

Eine ausführliche Mitteilung der hier kurz dargestellten Ergebnisse soll, sobald es möglich ist, nachfolgen.

Marl, Kreis Recklinghausen.
Chemische Werke Hüls.
Hermann Senftleben und Heinz Gladisch.

Eingegangen am 12. September 1946.

Eine neue Synthese von Cystein und Cystin.

Im Zusammenhang mit der Alkalibehandlung cystinhaltiger Proteine hatten wir ausführlich die Anlagerung von Sulfhydrylcarbonsäuren an Acrylsäure studiert[1]). Auch ein stabiles Derivat der unbeständigen α-Aminoacrylsäure, und zwar die α-Acetylamino-acrylsäure, kann Thiole addieren. Beispielsweise führte die Anlagerung von Cystein zu einer neuen, bequemen Synthese von Lanthionin.

Wir fanden nunmehr, daß die α-Acetylamino-acrylsäure auch die Thiolessigsäure nach der folgenden Gleichung unter Bildung von N, S-Diacetyl-cystein (I) addiert:

$$CH_2 = C(NH \cdot CO \cdot CH_3) - COOH + CH_3 - COSH$$
$$\rightarrow CH_3 \cdot CO \cdot S \cdot CH_2 \cdot CH(NH \cdot CO \cdot CH_3) - COOH \ (I).$$

Dies erfolgte z. B. bei dreistündigem Erhitzen der Komponenten auf dem Wasserbad. Nach dem Abdestillieren der überschüssigen Thioessigsäure wurde durch 8stündiges Kochen mit 20%iger Salzsäure hydrolysiert und im Vakuum zur Trockene eingedampft. Die Oxydation des Rückstandes, der eine starke SH-Reaktion mit Nitroprussidnatrium zeigte, ließ sich nach dem Abstumpfen der Salzsäure mit Natriumacetatlösung entweder mit 10%igem Wasserstoffsuperoxyd ($FeCl_3$ als Katalysator), Luftsauerstoff oder Jodlösung in üblicher Weise durchführen[2]). Hierbei entstanden kristalline Fällungen von Cystin in einer Ausbeute von rund 80% der Theorie[3]).

Eine aus verdünntem Ammoniak umkristallisierte Probe zeigte unter dem Mikroskop unregelmäßige Plättchen, vermischt mit sechseckigen Formen. Das Chlorhydrat kristallisierte in flachen Kristallen von schiffchenartiger Gestalt. Bei der Oxydation des inaktiven Cysteins muß neben d, l-Cystin auch meso-Cystin entstanden sein.

Nach der photometrischen Bestimmung mit Phosphorwolframsäure[4]) waren 1,16 mg des synthetischen Cystins äquivalent 1,153 bzw. 1,159 mg l-Cystin. Die Reaktion des synthetischen Produktes mit Nitroprussidnatrium bei Anwesenheit von Kaliumcyanid war positiv, ebenso die *Sullivan*-Reaktion und die Schwefelbleiprobe.

Cystein und Cystin, ein für Fragen des Stoffwechsels und der Ernährung wichtiges Substanzpaar, sind nach der vorliegenden Synthese aus einfachen Ausgangsstoffen zugänglich gemacht. Einzelheiten des Reaktionstyps (Reaktionsbedingungen, Konfiguration der Reaktionsprodukte, Variation des Thioles, Anlagerung von H_2S usw.) müssen in weiteren Untersuchungen festgelegt werden[5]) [6]).

Alfons Schöberl, Annemarie Wagner.

Eingegangen am 13. November 1947.

[1]) A. Schöberl, A. Wagner, Chem. Ber. im Druck; vgl. Diplomarbeit Annemarie Wagner, Würzburg (1945).
[2]) Prüfung des Oxydationsverlaufes durch Tüpfeln mit Nitroprussidnatrium.
[3]) Bezogen auf die α-Acetylamino-acrylsäure.
[4]) Ausgeführt nach A. Schöberl, P. Rambacher, Biochem. Ztschr. 295, 377 (1938).
[5]) Die Versuche wurden bereits Anfang 1945 durchgeführt. Aus äußeren Gründen konnten sie bis jetzt noch nicht fortgesetzt werden. Wir bitten uns die Bearbeitung der Synthese und der damit in Zusammenhang stehenden Fragen zu überlassen.
[6]) *Anmerkung bei der Korrektur* (8. 12. 47.): Am 29. 11. 47. erfuhr ich durch ein Zentralblattreferat (C. 1947, 657), daß sich die Fa. E. I. du Pont de Nemours & Co. in Wilmington/USA. gleichzeitig mit uns in einer Patentschrift mit der Reaktion beschäftigte. Schöberl.

Untersuchungen über die Lipoidfraktionen in Staublungen. Organische Kieselsäureverbindungen. VIII. Mitteilung.

Versuche, die I. T. Fallon[1]) an Kaninchen durchführte, zeigten, daß die Lungen normaler Kaninchen einen wesentlich geringeren Anteil an Phosphorlipoiden enthielten als die Lungen Quarz-bestäubter Kaninchen. In diesen Untersuchungen wurde der Gesamtgehalt an Lipoiden und der Gehalt an Phosphorlipoiden in den Lungen jeweils gesondert bestimmt. Es ergab sich hierbei, daß das Verhältnis der Ester und Fette zu den Phosphorlipoiden bei gesunden Lungen stets größer als 1 war, dagegen geringer als 1 bei SiO_2-Lungen. In Kaolin-Staublungen, bei denen bekanntlich, solange kein freier Quarz darin enthalten ist, keine silikotischen Erkrankungen auftreten, zeigte sich gleichfalls, daß die Werte für das Verhältnis Ester + Fette: Phosphorlipoiden über 1 lagen.

Die von uns untersuchten menschlichen Staublungen erbrachten für die Lipoidextrakte ähnliche Ergebnisse mit Bezug auf das Verhältnis Gesamtlipoide zu Phosphorlipoiden, während eine besonders hohe Steigerung der Phosphorlipoide, wie sie für das Anfangsstadium bei Staubschäden von Fallon[1]) an Kaninchen festgestellt wurde, an den von uns untersuchten Lungenproben nicht gefunden werden konnte, was jedoch zweifellos mit dem Alter der Erkrankung im Zusammenhang stehen könnte, da auch Fallon in seinen Versuchen ausdrücklich darauf hinweist, daß nach einiger Zeit der besonders hohe Phosphorlipoidgehalt absinkt, was zeitlich mit der fibroplastischen Veränderung des Gewebes zusammenfällt. Außer den reinen silikotischen Lungen zeigten in unseren Versuchen reine TB-Lungen einen stark erhöhten Gehalt an Phosphorlipoiden.

In den Untersuchungen an den verschiedensten Staublungen[2]) waren die Lecithinfraktionen völlig Si-frei darstellbar, während in dem die Fette und Ester enthaltenden Extrakt Silicium nachgewiesen wurde, im Gegensatz zu Blutextrakten[3]), in denen von uns nur in den Äthyl-Alkoholischen-Phosphorlipoidfraktionen Si gefunden wurde. Allerdings zeigte es sich, daß aus diesen Phosphorlipoidfraktionen mit Äther der größte Teil der Si-haltigen Verbindungen extrahiert werden kann, während der Ätherextrakt des Blutes, sofern er der Phosphorlipoidextraktion voraufgeht, keinen Si-Gehalt aufweist. Die Ursache hierfür kann einerseits in der leichten Zersetzlichkeit der Phosphatide liegen, eventuell jedoch z. B. auch durch eine voraufgegangene Eiweißfällung bedingt sein, die durch die Alkoholextraktion erfolgt und Fette aus Komplexverbindungen in Freiheit setzt. Ob es sich hier also möglicherweise schon um Spaltprodukte handelt und inwieweit hier eventuell ein Zusammenhang mit den aus den Staublungen isolierten Stoffen besteht, deren Entstehung auf diesem Wege denkbar wäre, möchten wir zur Zeit noch nicht entscheiden.

Wie bereits früher mitgeteilt,[2]) sind die aus den Lungen isolierten Si-haltigen Fraktionen Stickstoff-frei, sie sind aus den Ätherextrakten mit Aceton fällbar.

Die „Phosphatid"-Fraktion aus Staublungenextrakten ruft nach den Ergebnissen von Fallon,[1]) ähnlich wie es von Sabin[4]) in Versuchen mit Lecithin und Phosphatiden aus Tuberkelbazillen gezeigt wurde, die gleichen Erscheinungen der Knötchenbildung hervor, wie sie bei Tuberkulose beobachtet wird und durch Injektion von feingepulverten Quarzteilchen erzeugt werden.[5])

Nach unseren Erfahrungen scheint eine spezielle Aktivierung der Phosphorlipoidkomponenten bzw. Si-Lipoidkomponenten aufs engste mit den Ursachen der Silikosen und Silikotuberkulosen verknüpft zu ein.

Berlin-Dahlem, Kaiser Wilhelm Institut für Silikatforschung.

Luise Holzapfel.

Eingegangen am 28. Oktober 1947.

[1]) I. T. Fallon, The Canadian Medical Association Journal 36, 223—28 (1937).
[2]) Die untersuchten Staublungen waren mir für diese Zwecke freundlicherweise von Prof. Waetjen-Halle, Prosektor Dr. di Biasi-Bochum und Dr. Hübner-Jena zur Verfügung gestellt worden.
[3]) Luise Holzapfel, Staub, Heft 21 (1944) 148; Naturw. 31 386. (1943)
[4]) Sabin, R. F., Physiol. Rev. 12, 141 (1932).
[5]) Fallon l. c. hatte kein Si in seinen Extrakten finden können.

Farbstoffbildung bei Actinomyceten.

Während ein großes Beobachtungsmaterial über Vorkommen sowie kulturelle und physiologische Eigenschaften der Actinomyceten vorliegt, ist über die häufig auftretende, sehr charakteristische Verfärbung des Mycels bzw. der Nährlösungen in chemischer Hinsicht wenig bekannt. Es erschien daher nicht uninteressant, dieser Erscheinung eine nähere Untersuchung zu widmen.

Grundlegend für diese Untersuchungen war natürlich die Feststellung, ob diese Verfärbungen auf der Bildung chemisch definierter Farbstoffe beruhen, oder ob sie auf Substanzen zurückgehen, die in Zusammenhang stehen mit der noch nicht näher aufgeklärten Humusbildung.

Nach eingehenden Untersuchungen an etwa 300 aus Böden verschiedenster Herkunft isolierten Stämmen können die Actinomyceten in bezug auf die Bildung gefärbter Substanzen eingeteilt werden in vier große Gruppen, die als rot-gelbe, rot-blaue, braune und farblose Gruppe bezeichnet werden können, wobei unter rot-gelb zu verstehen ist, daß der Farbstoff sich in saurer Lösung rot, in alkalischer mit gelber Farbe löst. Das gilt entsprechend für die rot-blaue Gruppe (sauer = rot, alkalisch = blau). In der braunen Gruppe beruht die Färbung nicht auf der Bildung eines chemisch definierbaren Farbstoffs, sondern wird hervorgebracht durch mit Salzsäure ausflockbare Substanzen, die aus den noch nicht näher bekannten Humussäuren bestehen.

In der rot-blauen Gruppe aber finden sich stets in Lösungen und Mycel echte Farbstoffe, unter denen ein häufig auftretender, hitzebeständiger näher untersucht wurde. Ebenso tritt in der rot-gelben Gruppe ein extrahierbarer, hitzebeständiger Farbstoff auf.

Der rot-blaue Farbstoff ist nur in sehr geringem Ausmaß in der Kulturlösung enthalten. Er bildet sich aber verhältnismäßig reichlich im Mycel. Die Menge des in diesem enthaltenen hängt ab von der Zusammensetzung der Lösung und geht nicht direkt parallel mit der Menge des gebildeten Mycels. Ganz wesentlich fördernd ist in bezug auf die Farbstoffbildung der Zusatz eines wäßrigen Maisauszugs. Die Lösungen enthielten neben den üblichen Nährsalzen Saccharose oder Glyzerin als Kohlenstoff- und KNO_3 oder eine Aminosäure als Stickstoffquelle. Über die Isolierung des Farbstoffs und seine chemische Untersuchung berichtet die folgende Mitteilung.

Der genau untersuchte rot-gelbe Farbstoff steht in vieler Beziehung im Gegensatz zu dem soeben besprochenen. Er wird nur in geringer Menge im Mycel, in größerer — wenn auch beschränkter — dagegen in der Nährlösung gebildet. Während die neutrale Reaktion der Nährlösung für den rot-blauen die günstigste darstellt, entwickelt sich der rot-gelbe weit besser bei einem Anfangs-pH von 8,5. Als ein recht günstiges Substrat für die Entwicklung des rot-blauen Farbstoffs erscheint die Kombination Glykokoll-Glyzerin, der rot-gelbe entsteht am reichlichsten mit KNO_3 als Stickstoff- und Dextrin als Kohlenstoffquelle. Noch besser ist die Entwicklung, wenn zu 100 ccm der Lösung nach dem Sterilisieren 0,5 ccm einer 5%igen Natriumsulfitlösung zugefügt werden, wodurch das Redoxpotential erniedrigt wird. Das Studium der Farbstoffbildung unter verschiedenen Bedingungen erfolgte auf kolorimetrischem Wege. Dem erwähnten Maiszusatz annähernd gleichwertig war ein Zusatz von 20% Hefeextrakt, etwas günstiger wirkte ein solcher von 2 bis 4% corn-steep-liquor. Der Farbstoff läßt sich durch sämtliche gebräuchliche Lösungsmittel extrahieren, er ist hitzebeständig und gut kristallisierbar.

Außer den beiden oben gekennzeichneten wurden sowohl in der rot-gelben als auch in der rot-blauen Gruppe der Actinomyceten noch weitere chemisch definierbare Farbstoffe aufgefunden, über die demnächst berichtet werden wird.

Göttingen, Institut für Mikrobiologie der Universität.

O. v. Plotho.

Eingegangen am 10. November 1947.

Actinorhodin, ein roter Farbstoff aus Actinomyceten.

Unter den farbstoffbildenden Actinomyceten fällt besonders eine Gruppe auf, die unter geeigneten Kulturbedingungen den Nährboden tiefblau färbt. Aus Kulturen eines von O. v. Plotho[1]) isolierten Stammes dieser Gruppe haben wir einen Farbstoff, der in alkalischer Lösung blau, in saurer rot ist, in Form roter haarfeiner Nädelchen isoliert und ihn Actinorhodin genannt[2]). Er zeigt keinen Schmelzpunkt und ist in organischen Lösungsmitteln mit Ausnahme von Pyridin, Tetrahydrofuran und Dioxan, die ihn mit roter Farbe aufnehmen, sehr schwer und in Wasser nicht löslich. In Alkali löst er sich leicht mit leuchtend blauer Farbe, in Natriumbicarbonatlösung weniger gut mit gleicher Farbe. Die Grenze der Löslichkeit in Phosphatpuffer liegt bei p_H 6,8. Die tiefblaue Lösung in konz. Schwefelsäure wird auf Borsäurezusatz rotviolett, die rote Lösung in Essigsäureanhydrid färbt sich beim Erwärmen mit Boressigsäureanhydrid violettblau mit roter Fluoreszenz. Die folgende Tabelle zeigt die Maxima der Absorptionsbanden in verschiedenen Lösungsmitteln, gemessen mit einem Prismenspektroskop.

Lösungsmittel	Lage der Absorptionsmaxima in m μ	
Butanol	571	531
Natronlauge	641	588
Konz. Schwefelsäure	614	565
Konz. Schwefelsäure und Borsäure	579	528
Boressigsäureanhydrid	604	557

Actinorhodin enthält weder Stickstoff noch Schwefel, Halogen oder Methoxylgruppen. Die Analysenwerte und die Molekulargewichtsbestimmung in Phenol stimmen auf die Bruttoformel $C_{22}H_{20}O_{10}$. Acetylieren mit Essigsäureanhydrid ergibt ein in gelben Nädelchen kristallisierendes Triacetylderivat, das sich ohne zu schmelzen ab 260° zersetzt. Reduzierende Acetylierung liefert ein farbloses, in Benzol blau fluoreszierendes Penta-acetylderivat. Der Farbstoff enthält also ein Chinonsystem und drei freie Hydroxylgruppen, von denen nach dem Ergebnis der Boressigsäureanhydrid-Reaktion mindestens zwei den chinoiden CO-Gruppen benachbart sein müssen. Die Beobachtung, daß sich das Triacetylderivat sofort in Bikarbonatlösung löst, das mit Diazomethan methylierte Acetylprodukt dagegen nicht, deutet auf Anwesenheit von mindestens einer Carboxylgruppe, die im Triacetylderivat frei, nach Umsatz mit Diazomethan dagegen verestert ist. Actinorhodin ist in Pufferlösung vom p_H 7,2 bis zu einer Verdünnung von 1 : 100000 gegen *Staphylococcus aureus* bakteriostatisch. Über Einzelheiten der Konstitution wird demnächst an anderer Stelle berichtet. Neben dem Actinorhodin haben wir im Mycel unseres Actinomycetenstammes noch andere rote Farbstoffe aufgefunden, deren Kristallisation noch nicht gelungen ist. Einer von ihnen ist dadurch ausgezeichnet, daß er bei alkalischer Reaktion gelb, bei saurer rot ist.

Göttingen, Organisch-Chemisches Institut der Universität.

Hans Brockmann und Henning Pini.

Eingegangen am 10. November 1947.

[1]) O. v. Plotho, vorhergehende Mitteilung siehe oben. A. E. Kriss, Mikrobiologia (russisch) 5, 607 (1937).

[2]) Der rote Farbstoff aus Protactinomyces cyaneus antibioticus, das Litmocidin, über das kürzlich G. F. Gause und M. G. Brashnikowa berichteten, (Mikrobiologia [russisch] 15, 267, 273, (1946), Journ. Bact. 51, 649, 655), ist mit unserem Farbstoff sicher nicht identisch.

Anoxybiose als internes Karzinogen.

Pasteur[1]) ist es als erstem gelungen, durch Anwendung der Anoxybiose sporangierende Pilze mit ausschließlich aerober Lebensweise in sprossende mit vitaler anaerober Stoffwechselbefähigung umzuzüch-

ten. Er konnte zeigen, daß Mucorineen, die an freier Luft eine absolut aerobe Existenz führen, in der Anoxybiose die bekannten Sproßformen der Hefe bilden und in dieser Mutation ihren Energiebedarf durch Zuckerspaltung zu decken vermögen. Auf diesen epochalen Umzüchtungs-Experimenten basiert die klassische Lehre Pasteurs von der Gärung als „conséquence de la vie sans air".

Vergeblich bemühte sich jedoch Pasteur zu beweisen, daß seine Lehre auch für die typischen Gärungserreger, die Kulturhefen, Gültigkeit besitzt. Diesen Beweis vermochte ich erst viel später zu erbringen[2]), und zwar auf vegetativem Wege, durch absolute Anoxybiose-Züchtung; hierbei erfahren die Kulturhefen, die bisher allgemein für zymatisch überzüchtet galten, noch eine beträchtliche Steigerung des Gärvermögens. Mit diesem Befund erlangte die Lehre Pasteurs erst ihre generelle Bestätigung.

In Analogie zu seinen grundlegenden Ergebnissen am Muskel vermeinte O. Meyerhof die Lehre Pasteurs in ihrer biologischen Allgemeingültigkeit noch dahingehend erweitern zu können, daß er unitarisch für alle Zellen, tierische und pflanzliche, eine „conséquence de la vie avec air" supponierte (Pasteur-Meyerhofsches Prinzip)[4]). Diese Konsequenz der Oxybiose, die für den Muskel besteht, existiert aber zumindest für alle anaeroben und anoxybiontisch mutierten Lebewesen nicht, wie ich durch umfangreiche Züchtungsversuche und auf Grund makrometrischer Bestimmung der Atmungsquotienten dartun konnte[5]).

Meine Feststellungen, auf vegetativer Grundlage erbracht, besagen, daß Anoxybiose in jedem Fall die dualen Stoffwechselkräfte steigert, während umgekehrt Oxybiose sie gleicherweise vermindert. Eine Wechselwirkung von Atmung und Gärung im Meyerhofschen Sinne, daß Dominieren des einen Stoffwechseltypus ein Zurücktreten des anderen bedingt, besteht also nicht. Ebenso ist eine Umzüchtung von anaeroben bzw. Rückzüchtung von anoxybiontisch mutierten Zellen vermittels Oxybiose zum aeroben Typ vegetativ nicht möglich. Dieser Befund gilt für alle Kultur- und Wildhefen in gleicher Weise wie für Milchsäurebakterien, anoxybiontisch mutierte Mucorineen und maligne Tumoren.

Der grundsätzlichen Berücksichtigung des züchterischen Momentes verdanke ich bei meinen Stoffwechselarbeiten die erwähnten neuartigen und aufschlußreichen Erkenntnisse. So war die Idee für mich naheliegend, die gleichen Methoden der Zellzüchtung und energetischen Makrobestimmungen in entsprechend modifizierter Form auch bei meinen weiteren Studien über die Anoxybiose hinsichtlich ihrer karzinogenen Wirksamkeit auf die tierische Zelle anzuwenden. Hierdurch ist es mir erstmalig gelungen, bei verschiedenartigem normalen tierischen Gewebe einen karzinogenen Effekt in Permanenz hervorzurufen, der sich durch hohe und persistierende Glykolyse bei einsetzender und fortdauernder Oxybiose beweiskräftig dokumentierte; letzteren Stoffwechseltypus hat O. Warburg[6]) als charakteristisch für alle malignen Tumoren eruiert, ohne daß er dabei die Möglichkeit einer anoxybiontischen Gewebemutation nach dem Pasteurschen Prinzip in Erwägung zog.

Zunächst soll noch weiteres Gewebs- und Organmaterial von mir überprüft werden, um festzustellen, ob der karzinogene Effekt durch Anoxybiose als essentielle Ursache der karzinomatösen Mutation von normalen Zellen angesprochen werden kann.

Berlin, Institut für Gärungsforschung.

F. Windisch.

Eingegangen am 30. September 1947.

[1]) Die Alkoholgärung, II. Aufl. Stuttgart (1878).
[2]) Zeitschr. f. physiol. Chem. **179**, 88 (1928).
[3]) Hb. d. norm. u. pathol. Physiol. **8**, 476 (1925).
[4]) Bio. Z. **162**, 43 (1925).
[5]) Bio. Z. **246**, 332 (1932); Ergeb. d. Enzymf. **2**, 169 (1933).
[6]) Kli. Wo. 829 (1926).

Die Bildung des Spaltöffnungsmusters in der Blattepidermis.

In der Blattunterseite finden sich bekanntlich außer den gewöhnlichen Epidermiszellen die Schließzellen der Spaltöffnungen. Die Schließzellen entstehen durch Zweiteilung von Initialen; diese Initialen ihrerseits entstehen, indem von einer Epidermiszelle durch eine „differentielle Teilung" eine plasmareichere Teilzelle abgegliedert wird. Der Ort für diese differentielle Teilung und damit für die Anordnung der Spaltöffnungen in der fertigen Epidermis kann durch die Teilungsfolge der Zellen prädestiniert sein (viele Monokotylen). Bei anderen Pflanzen jedoch (Dikotyledonen) können diese differentiellen Teilungen prinzipiell *überall* auftreten, sie sind aber nicht überall *gleich häufig*; das kommt darin zum Ausdruck, daß die Spaltöffnungsverteilung in der fertigen Epidermis auch bei diesem Typ der Spaltöffnungsbildung nicht rein zufällig ist, sondern so wird, als hätten sich die einzelnen Spaltöffnungsinitialen gegenseitig abgestoßen. Das hier auftauchende Problem, wieso eine bestimmte Bildung über einen größeren Gewebebereich die „Alleinherrschaft" beanspruchen kann, wodurch sie also die Entstehung einer gleichartigen Bildung in der Nachbarschaft verhindert, ist von allgemein entwicklungsphysiologischer Bedeutung; es tritt uns bei der Differenzierung ganz andersartiger Gewebe ebenfalls entgegen (z. B. Anordnung der Gefäßbündel in der Achse, Anordnung der Markstrahlinitialen im Kambium).

Eine eingehende Untersuchung der Spaltöffnungsbildung und ihrer Beeinflussung durch verschiedene Faktoren führte uns zur Vermutung, daß das hemmende Prinzip, das jene „Alleinherrschaft" über einen größeren Bereich ermöglicht, mit dem Wundhormon identisch ist (das dann also eigentlich weder als Wundhormon bezeichnet werden dürfte, da es auch bei normalphysiologischen Vorgängen wichtig ist, noch einfach ein Teilungshormon genannt werden sollte, da es auch bei komplizierteren Differenzierungsprozessen mitwirkt). Folgende Gründe stützen diese Ansicht.

Durch Verwundung und durch Gewebebrei wird verursacht:

a) erneute Zellteilung;
b) positive Chemotaxis von Zellkernen (auch in größerer Entfernung von der Wunde bzw. bei geringerer Konzentration des Wundhormons als der zur Teilungsauslösung erforderlichen);
c) Unterdrückung der Differenzierung zu Spaltöffnungsinitialen.

Eine entstandene Spaltöffnungsinitiale verursacht:

a) oft eine erneute Zellteilung in den benachbarten Epidermiszellen (Nebenzellbildung!);
b) positive Chemotaxis der Zellkerne (auch in größerer Entfernung von den Initialen, also über den Bereich der Nebenzellen hinaus);
c) Unterdrückung der Differenzierung zu Spaltöffnungsinitialen in der Umgebung.

Die Konsequenz, daß ein Teilungshormon die Bildung von Spaltöffnungsinitialen, also das Auftreten jener differentiellen Teilungen, verhindert, harmoniert auch mit der Tatsache, daß jene differentiellen Teilungen in der sich entwickelnden Epidermis normalerweise erst auftreten, wenn die Teilungstätigkeit im Erlöschen begriffen ist. Warum die differentielle Teilung an diese Bedingung geknüpft ist, bleibt noch aufzuklären. Erst durch die differentielle Teilung wird, aus Gründen, die uns noch unbekannt sind, eine Zelle abgeschnürt, die wieder befähigt ist, das Teilungshormon in großer Menge zu bilden, und so kann die Initiale jene Wirkungen ausüben.

Die Betrachtung zahlreicher anderer pflanzlicher Gewebedifferenzierungen, auf die hier nicht eingegangen werden soll, zeigt, daß die hier besprochenen Erscheinungen sehr häufig im Spiel sind: In den

jungen Geweben findet nach ihrer Abtrennung vom Meristem zunächst eine geringe (oft genau fixierte) Anzahl von Teilungen statt, die noch keine Differenzierung zur Folge haben; dann — beim Erlöschen der Teilungstätigkeit — zeigt sich eine mikroskopisch sichtbare polare Anhäufung plasmatischer Substanzen; diese Anhäufung hat zur Folge, daß an diesem Pol plötzlich wieder Teilungshormone gebildet werden können. Die Teilungshormone bedingen eine positiv chemotaktische Verlagerung des Zellkerns und dessen erneute Teilung innerhalb der betreffenden Zelle mit der notwendigen Konsequenz, daß die aus dem plasmareicheren Pol der Zelle hervorgehende Tochterzelle die kleinere ist und daß diese jetzt weitere Teilungen durchführen kann.

Die nähere Untersuchung dieser hier skizzierten Vorgänge wird zum Eindringen in die Probleme der pflanzlichen Gewebedifferenzierung wichtig sein.

Botanisches Institut der Universität Tübingen.

Erwin Bünning und Herta Sagromsky.

Eingegangen am 20. September 1947.

Druckfehlerberichtigung.

Da von zwei Mitteilungen versehentlich keine Autorenkorrekturen versendet wurden, sind folgende Satzfehler nachträglich zu verbessern:

W. Schäfer, **Zur Frage der Mesonenarten.** Naturwiss. **33**, 365.

S. 365, 2. Spalte, 6. Zeile statt $\pm$ 0.6 richtig $\pm$ 0,2.
S. 366, 2. Zeile der Figurenbeschriftung: statt τ^0 richtig τ_0.
5. Zeile unter der Figur statt 1,29 $\pm$ 0,33) richtig (1,29 $\pm$ 0,33).

K. Wirtz, **Bremslänge der Neutronen in Kohle und schwerem Wasser.** Naturwiss. **33**, 366.

2. Zeile unter der Figur statt „or^{2}" richtig ϱr^3.
3. Zeile statt $e - r/r_0$ richtig e^{-r/r_0}.
In der Formel für ΔB^2 statt $2nd$ richtig $2n\lambda$.
In der Formel für n statt lu richtig ln.
Außerdem muß in den Literaturzitaten die vierletzte Zeile an die vorletzte Stelle verschoben werden.

Eingegangen am 1. November 1947.

Besprechungen.

Hans Grüneberg, **Animal Genetics and Medicine.** Hamish Hamilton Medical Books, XII + 296 pages with 33 illustrations. 21 s. net. London (1947).

Das vorliegende Buch stellt die erste zusammenfassende Darstellung eines jungen Forschungsgebietes, der vergleichenden Erbpathologie, dar, eines Gebietes, das von dem Verfasser in den letzten Jahren mit ganz besonderem Erfolg bearbeitet worden ist. Einem befriedigenden Studium der menschlichen Erbkrankheiten steht die Unmöglichkeit des Experimentes oftmals hindernd im Wege. Dadurch bleiben manche Lücken. Diese Lücken lassen sich mit Hilfe der vergleichend-experimentellen Methode, durch Untersuchung von beim Tier in ähnlicher Weise vorkommenden Erbleiden, schließen. Insbesondere eignen sich hierzu die vier Laboratoriums-Nagetiere: Kaninchen, Meerschweinchen, Ratte und Maus. Der Verfasser beschränkt sich denn auch auf die Darstellung der an diesen vier Nagern gewonnenen Ergebnisse, wobei er die Literatur bis auf die jüngste Zeit berücksichtigt, mit Ausnahme von Deutschland und Holland, deren während der letzten Kriegsjahre erschienene Arbeiten ihm nicht mehr rechtzeitig zugänglich geworden sind.

Einige allgemeine Kapitel leiten das Buch ein. Es wird auf die mannigfachen Vorteile hingewiesen, die das Tiermaterial gegenüber dem Menschenmaterial für den Genetiker bietet. Beim Menschen sind es oftmals ganz heterogene Dinge, die unter einem Krankheitsnamen zusammengefaßt werden. Andererseits wieder gehen bisweilen die gleichen Krankheiten unter verschiedenen Namen. Der mit dem Tier arbeitende Genetiker hingegen vermag sein Material durchaus homogen zu züchten, so daß er in einem homozygoten Stamm ein bestimmtes Erbleiden in reiner Form vor sich hat. Auch hat er es in der Hand, das Milieu einheitlich zu gestalten beziehungsweise in einzelnen Versuchsserien abzuändern und so den Einfluß der Umwelt auf die Manifestation der Krankheit zu prüfen. Seltene Erbkrankheiten, wie beim Menschen, gibt es im Tierversuch nicht, da jedes Leiden gemäß dem Wunsche des Experimentators in beliebiger Menge gezüchtet werden kann. Ganz kümmerlich sind unsere Kenntnisse über die ersten Entwicklungsstadien der meisten menschlichen Erbleiden. Beim Tier läßt sich die Entwicklung auch an den Embryonalstadien Schritt für Schritt verfolgen. In gleicher Weise können wir die Vorgänge im Greisenalter in ihrer Abhängigkeit vom Genotypus mit aller wünschenswerten Genauigkeit studieren. An den Grundsatz des Arztes, primum non nocere, brauchen wir uns beim Tier nicht zu halten. Daß bei der vergleichenden Betrachtung der Erbleiden von Mensch und Tier die Organisationsunterschiede nicht außer acht gelassen werden dürfen, ist selbstverständlich. Aber der Verfasser weist im Laufe seiner Darstellung an treffenden Beispielen sehr mit Recht immer wieder darauf hin, wie weit doch tatsächlich die Parallelität der Erscheinungen geht. Ein von ihm besonders gut durchgearbeitetes Beispiel, ein Erbleiden des Stützgewebes bei der Ratte, zeigt sehr schön den Gang der Analyse der mannigfachen Wirkungen eines einzelnen krankhaften Gens.

In einem speziellen Teil des Buches werden, nach Organen getrennt, die bisher bekannten Erbleiden der vier Nager beschrieben, wobei der Hauptnachdruck weniger auf die Darstellung des Erbgangs als auf die der Phänogenetik gelegt wird, und es werden Vergleiche mit den entsprechenden menschlichen Leiden gezogen. Den breitesten Raum nehmen die Krankheiten des Nervensystems ein, es folgen die der Sinnesorgane, der endokrinen Organe, des Blutes. Ausführlich werden wieder entsprechend unseren Kenntnissen die Anomalien des Skelettsystems behandelt. Verdauungsapparat, Urogenitalsystem und die Haut schließen sich an. Ein besonderes Kapitel ist der Serologie gewidmet, ein weiteres der Widerstandsfähigkeit gegen Krankheiten. Fast in allen Kapiteln vermag der Verfasser Beiträge aus eigenen Untersuchungen beizusteuern. Auch die 33 dem Buche beigegebenen Strichzeichnungen sind größtenteils Arbeiten des Verfassers entnommen. Im letzten Kapitel wird ein kurzer Ausblick auf die Weiterentwicklung der vergleichenden Erbpathologie gegeben.

Ein Literaturverzeichnis von 443 Nummern beschließt das für den Erbbiologen wie für den Mediziner in gleicher Weise wertvolle Buch. Text und Literaturübersicht zeigen uns Deutschen, wieviel allein auf diesem Spezialgebiet in den letzten Jahren im Ausland geleistet worden ist. Da uns die ausländische Originalliteratur immer noch größtenteils unzugänglich ist, müssen wir besonders dankbar sein, wenn uns wenigstens in solchen zusammenfassenden Darstellungen der Stand der Forschung vorgeführt wird.

Berlin-Dahlem H. Nachtsheim.

Eingegangen am 4. November 1947.

METEOROLOGISCHE RUNDSCHAU

Herausgegeben von
Dr. Karl Keil / Bad Kissingen

Erscheint monatlich einmal · Jährlich RM 48.—

Soeben erschien: **1. Jahrgang, Heft 3/4 (September/Oktober 1947)**

Inhalt: Zur Theorie der partiellen Gasentmischung in der Atmosphäre. Von Heinz Lettau. Hochnebellage über dem Schwarzen Meer. Von Walter Regula. - Zum Klima der freien Atmosphäre über Sibirien II. Von Hermann Flohn. - Der Schichtenbau der Troposphäre. Von Karl Schneider-Carius. - Die Temperatur in Berlin in Abhängigkeit von drei kosmischen Wellen. Von August Thraen. - Über die ageostrophische Windkomponente und ihre Ermittlung aus dem Druckfeld. Von Heinz Lettau. - Die thermische Kontinentalität im Klima West- und Nordwest-Deutschlands. Von Franz Ringleb. - Zum Klima der Hochgebirge Zentralasiens. Von Hermann Flohn. - Wind- und Luftdruckverhältnisse bei veränderter Rotationsgeschwindigkeit der Erde. Von Heinrich Faust. - Über maximale Gegensätze des Luftdruckes als Funktion der Erdrotation. Von Heinz Lettau. - Agrarmeteorologie im Dienste der Ernährungswirtschaft. Von Fritz Schnelle. - Flüge in tropischen Orkanen. Von Karl Keil. - Die Witterung in der US-Zone, März 1947, April 1947 und Mai 1947. - Aerologische Übersicht für die Monate März 1947, April 1947 und Mai 1947. - Kurzberichte. - Referate. - Neuerscheinungen.

SPRINGER-VERLAG BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

Ärztliche Wochenschrift

Unter Mitwirkung von zahlreichen Fachgelehrten
herausgegeben von

R. Degkwitz
Hamburg
H. v. Kress
Berlin
F. Redeker
Hamburg
W. Wachsmuth
Würzburg

Die Zeitschrift erscheint im 1./2. Jahrgang vorerst halbmonatlich in Doppelheften von je 32 Seiten. Der Bezugspreis beträgt halbjährlich RM 19.20

Für Studierende der Medizin ermäßigt sich der Bezugspreis auf halbjährlich RM 15.—, zuzüglich Zustellgebühren.

SPRINGER-VERLAG
BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

Klinische Wochenschrift

Organ der bisherigen Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte

Unter ständiger Mitwirkung von zahlreichen Fachgelehrten
herausgegeben von

K. H. Bauer · **L. Heilmeyer**
Heidelberg Freiburg i. Br.
A. Jores · **K. Lang**
Hamburg Mainz
H. Schwiegk
Heidelberg

Die Zeitschrift erscheint im 24./25. Jahrgang vorerst halbmonatlich in Doppelheften von je 32 Seiten. Der Bezugspreis beträgt halbjährlich RM 24.—

Für Studierende der Medizin sowie Ärzte in nicht voll bezahlter Stellung ermäßigt sich der Bezugspreis auf halbjährlich RM 18.—, zuzüglich Zustellgebühren.

SPRINGER-VERLAG
BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG
J. F. BERGMANN
MÜNCHEN

Seifert-Tetralux
der bekannte
Halbwellen-Diagnostik-Röntgenapparat
Wir empfehlen uns für die Instandsetzung von Röntgen- u. elektromed. Apparaten aller Fabrikate
Rich. Seifert & Co.
Röntgenwerk · Hamburg 13

HOLSTEINISCHE WERTARBEIT
Mikro-Präparate
Präzisions-Spiegel
Glasteilungen
Optische Instrumente
J. D. MÜLLER G.m.b.H., WEDEL i. HOLST.

Elektrotechnische Erzeugnisse
Wobser & Rödel
Frankfurt/Main-Unterliederbach, Roggengasse 2
Herstellung von SPEZIALHEIZGERÄTEN
für bakteriologische und biologische Institute, Photolaboratorien - Tankwärmer usw. Bienenzucht sowie Aquaristik

Mikroskop-Reparaturen
führt Spezialfirma in Wetzlar aus.
Anfragen und Erledigungen durch
K. M. Industrievertretungen Karl Müller,
Berlin-Charlottenburg 4, Niebuhrstr. 11 A III

Dr.-Ing. (Diplomphysiker, 35 J.) vertr. m. Fr. d. Werkstoffprüfung, bes. Röntgentechn. (Fein-, Grobstruktur- u. Spannungsmess.), wie Elektronenoptik und Spektralanalyse, sucht neuen Wirkungskreis. Off. erb. u. N. W. 47 an diese Zeitschrift.

Übersetzungen (englisch und französisch) besonders techn. und wissenschaftl. Texte sowie engl. Unterricht (auch in Naturwissenschaften) übernimmt Ingrid Janke, stud. ing. (mit Dolmetscherexamen), (1) Berlin-Charlottenburg 9, Fredericiastraße 25

Bücher der Technik
Ingenieurwissenschaften
Naturwissenschaften *und*
Medizin
Ankauf - Tausch - Verkauf
Wissenschaftliche Buchhandlung **Kiepert am Knie**
(1) Berlin-Charlottenburg 2, jetzt Knesebeckstraße 8/9

DRAEGER
Atem-schutz
gegen
alle schädlichen
Gase
hochentwickelt
betriebssicher
bewährt
DRÄGERWERK LÜBECK
ZWEIGNIEDERLASSUNGEN
Essen-Ruhr, Hamburg, Hannover, Kiel, Stuttgart, Ansbach
101

Veröffentlicht unter Zulassungs-Nr. 48 der Britischen Militärregierung. - Herausgeber und verantwortlicher Redakteur: Professor Dr. Arnold Eucken, Göttingen, Bürgerstraße 50 - Für den Anzeigenteil verantwortlich: Hans-Georg Haffter, Stahnsdorf b. Berlin, Meisenweg 33. - Druck: A. Bagel, Düsseldorf. - Springer-Verlag, Berlin und Göttingen. - Printed in Germany.